

Aus der Augenklinik und Poliklinik der Freien Universität Berlin

Klinikum Westend

Direktor: Professor Dr. med. J. Wollensak

ERGOMETERARBEIT UND AUGENINNENDRUCK –
UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BEZIEHUNGEN ZU
KREISLAUF UND SÄUREN-BASENHAUSHALT AN
GESUNDEN JUGENDLICHEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Brigitte Scriba

aus Berlin

1973

is der Augenklinik und Poliklinik der Freien Universität Berlin
Klinikum Westend
Direktor: Professor Dr. med. J. Wollensak

Ergometerarbeit und Augeninnendruck -

Untersuchungen über die Beziehungen zu Kreislauf
und Säuren-Basenhaushalt an gesunden Jugendlichen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Brigitte Scriba
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. J. Wollensak

Korreferent: Professor Dr. med. H. Stoboy

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 11. Juli 1973

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Hauptteil	2
III. Zusammenfassung und Schluss	3
IV. Literaturverzeichnis	4
V. Anhang	5
Meinen lieben Eltern gewidmet	6
VI. Tabellen	7
1. Tabelle	8
2. Tabelle	9
3. Tabelle	10
4. Tabelle	11
5. Tabelle	12
7. Zusammenfassung	13
8. Zusammenfassung	14
9. Zusammenfassung	15
10. Zusammenfassung	16
11. Zusammenfassung	17
12. Zusammenfassung	18
13. Zusammenfassung	19
14. Zusammenfassung	20
15. Zusammenfassung	21
16. Zusammenfassung	22
17. Zusammenfassung	23
18. Zusammenfassung	24
19. Zusammenfassung	25
20. Zusammenfassung	26
21. Zusammenfassung	27
22. Zusammenfassung	28
23. Zusammenfassung	29
24. Zusammenfassung	30
25. Zusammenfassung	31
26. Zusammenfassung	32
27. Zusammenfassung	33
28. Zusammenfassung	34
29. Zusammenfassung	35
30. Zusammenfassung	36
31. Zusammenfassung	37
32. Zusammenfassung	38
33. Zusammenfassung	39
34. Zusammenfassung	40
35. Zusammenfassung	41
36. Zusammenfassung	42
37. Zusammenfassung	43
38. Zusammenfassung	44
39. Zusammenfassung	45
40. Zusammenfassung	46
41. Zusammenfassung	47
42. Zusammenfassung	48
43. Zusammenfassung	49
44. Zusammenfassung	50
45. Zusammenfassung	51
46. Zusammenfassung	52
47. Zusammenfassung	53
48. Zusammenfassung	54
49. Zusammenfassung	55
50. Zusammenfassung	56
51. Zusammenfassung	57
52. Zusammenfassung	58
53. Zusammenfassung	59
54. Zusammenfassung	60
55. Zusammenfassung	61
56. Zusammenfassung	62
57. Zusammenfassung	63
58. Zusammenfassung	64
59. Zusammenfassung	65
60. Zusammenfassung	66
61. Zusammenfassung	67
62. Zusammenfassung	68
63. Zusammenfassung	69
64. Zusammenfassung	70
65. Zusammenfassung	71
66. Zusammenfassung	72
67. Zusammenfassung	73
68. Zusammenfassung	74
69. Zusammenfassung	75
70. Zusammenfassung	76
71. Zusammenfassung	77
72. Zusammenfassung	78
73. Zusammenfassung	79
74. Zusammenfassung	80
75. Zusammenfassung	81
76. Zusammenfassung	82
77. Zusammenfassung	83
78. Zusammenfassung	84
79. Zusammenfassung	85
80. Zusammenfassung	86
81. Zusammenfassung	87
82. Zusammenfassung	88
83. Zusammenfassung	89
84. Zusammenfassung	90
85. Zusammenfassung	91
86. Zusammenfassung	92
87. Zusammenfassung	93
88. Zusammenfassung	94
89. Zusammenfassung	95
90. Zusammenfassung	96
91. Zusammenfassung	97
92. Zusammenfassung	98
93. Zusammenfassung	99
94. Zusammenfassung	100



Gliederung

	Seite
I. Einleitung	1
II. Aufgabenstellung	2
III. Versuchsanordnung und Methodik	3
1. Versuchspersonen	3
2. Versuchsanordnung	3
3. Registrierte Parameter	5
IV. Ergebnisse	7
1. Puls	7
2. Blutdruck	8
3. Augeninnendruck	9
4. arterieller pH-Wert	11
5. base-excess	11
6. Standard-bicarbonat	12
7. Kohlensäurepartialdruck	12
V. Korrelationsstatistische Betrachtungen der gemessenen Parameter	14
1. Herzfrequenz und Augeninnen- drucksenkung	14
2. Blutdruck und Augeninnendruck	16
3. Säuren-Basenhaushalt	18
VI. Zusammenfassung der Ergebnisse	22
VII. Diskussion	23

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Ergometerarbeit und Augeninnendruck -

Untersuchungen über die Beziehungen zu Kreislauf
und Säuren-Basenhaushalt an gesunden Jugendlichen

I. Einleitung

Die Diskussion über die Veränderungen des Augeninnendruckes nach körperlicher Belastung ist seit den Veröffentlichungen von Comberg und Stoewer 1926 sowie Bardanzellu 1929 immer wieder durch unterschiedliche Mitteilungen in Gang gehalten worden. Erst neuere Untersuchungen haben die Gesamtveränderungen berücksichtigt, die sich im Körper physiologischerweise bei schwerer Muskelarbeit abspielen. Hierzu gehören die Veränderungen im Verhalten des Kreislaufs ebenso, wie die Verschiebungen im Säurebasenhaushalt, bedingt durch die auftretenden Stoffwechselmetaboliten (Lempert et al. 1967, Marcus et al. 1970, Stewart et al. 1970). Übereinstimmend wurde von den genannten Autoren gefunden, daß es nach starker körperlicher Belastung zu einer erheblichen Senkung des Augeninnendruckes kommt (s. Tab. 1, S. 1 a). Marcus et al. konnten darüberhinaus zeigen, daß die gemessene Tensionssenkung durch Muskelarbeit in direktem Zusammenhang mit dem Anstieg des Milchsäure- und Brenztraubensäurespiegels steht. In jüngsten Untersuchungen haben Kypke und Hölge 1971 die Augeninnendruckveränderungen unter reproduzierbaren Arbeitsbedingungen untersucht. Sie führten steady-state Belastungen auf dem Fahrradergometer durch und konnten dabei mit ihrer Anordnung die oculäre Tension auch während der Arbeit messen. Durch gleichzeitige Kontrolle von Blutdruck und Pulsfrequenz wurden die Veränderungen im Kreislaufverhalten kontrolliert. Die aus dem erhöhten Muskelstoffwechsel stammenden freien Säuren, die zu einer erheblichen metabolischen Azidose führen, wurden

Tabelle 1 Historische Zusammenstellung

Autor	Untersuchungs- objekt	Anzahl Versuchsperso- nen Tiere	Form der körperlichen Belastung	gemessene Parameter	Wirkung auf den Augeninnendruck
Comberg u. Stower 1926	Mensch	?	Kontraktion der Abdomi- nal- u. Thorakalmus- kulatur	Augeninnendruck	Steigerung um ca. 15mm Hg
Bardanzellu 1929	Mensch	9 Soldaten	alpine Manöver, Bergsteigen	Blutdruck, Augeninnendruck	Anstieg parallel zum Blutdruck, in einigen Fällen auch Absinken
De Jongh u. Wolff 1932	Kaninchen u. Hunde	?	Injektion von Strych- nin Alkaloiden, dadurch Auftreten von Muskel- krämpfen	Augeninnendruck	Senkung um 2550
Filatov, Ierschkovitch u. Fischer 1937	Mensch (15-28 Jahre)	24 Männer 11 Frauen	Wettkampf, Medizinball- schwere Metallhanteln	Augeninnendruck	Senkung um 3-4 mm Hg, Dauer ca. 1-2 Std.
Filatov 1937	Mensch	1 Glaukom- patient	1-2 stündige Muskel- arbeit	Augeninnendruck	Senkung
Filatov, Ierschkovitch u. Chevalov 1937	Kaninchen	8	Laufversuch, hinterher direkte Injektion von Ermüdungsblut in ein nicht ermüdetes Tier	Augeninnendruck	Senkung um 8-10mm Hg
Ierschkovitch u. Chevalov 1937	Hunde	?	Laufen während 45-50 min. mit Geschwindig- keit von 10 km/h	Augeninnendruck	Senkung um 3-4mm Hg, Dauer ca. 2 Stunden
Savereucha u. Tebnichina 1938	Mensch (17-30 Jahre)	180 Gesunde 26 Glaukom- patienten	unterschiedl. körper- liche Übungen 1 Std. Spaziergang	Augeninnendruck	50 % Senkung 10 % ohne Veränderung 26 % Erhöhung unterschiedliche Wirkung
Ierschkovitch 1940	Mensch	Glaukoma- patienten	?	Augeninnendruck	Senkung
Sedan 1947	Mensch	1 Glaukom- patient	Gymnastik, Laufen, Tanzen, Tennisspielen	Augeninnendruck	Senkung
Kuchle u. Rohrschneider 1957	Kaninchen	8	Benarb. bis zur Erschöpfung	Augeninnendruck	Erhebliche Senkung mit Maximum in den ersten 10 min. Dauer 20-60 min.
Biro u. Bator 1962	Mensch	25	Lauf von 100 m bzw. 1000 m Valsalva Versuch	Augeninnendruck Augeninnendruck	Drucksenkung von 0,3-3,6 mm Hg Druckanstieg
Jahiszewska- Zygar 1963	Mensch	222	Gymnastik, Radfahren, Gebäuvorgang, Gewichtheben	Augeninnendruck	Senkung um 62,3 % Anstieg in 100 %
Kern 1964	Mensch (21-24 Jahre)	74	50 und 100 km Pätrouillenlauf	Augeninnendruck	Senkung 22 keine Änderung 27 Druckanstieg 93
Cooper, Lempert Culver 1965	Mensch (42-45 Jahre)	3 Glaukom- patienten	Balke-Ware-Leistungs- test (90 min.) bis zur Erschöpfung	Augeninnendruck	Senkung
Lempert, Kenneth, Cooper, Culver, Tredici 1967	Mensch	13 3 Glaukom- verdächtige 3 Glaukom- patienten	Balke-Ware-Leistungs- test auf dem Lauf- band, Ergometer " "	Augeninnendruck, Pulsfrequenz, Blutdruck " "	Senkung zwischen 10 u. 150 min. Drucksenkung zw. 150 u. 210 min. Drucksenkung zw. 55 u. 120 min.
Stewart, Le Blanc Becker 1970	Mensch	37	Rennen über eine Treppe, Ende der Be- lastung ab Pulsfrequenz 100/min	Augeninnendruck Puls Osmolarität	Senkung um 22-25 %
Leighton u. Phillips 1970	Mensch (21-35 Jahre)	12 Männer 2 Frauen	50 min. schnelles Gehen	Augeninnendruck Puls	Senkung um 2,3 mm Hg
Marcus, Krupin Podos Becker 1970	Mensch	12	mäßige Belastung auf dem Laufband	Augeninnendruck Osmolarität pH Pyruvat, Laktat Blutdruck	Drucksenkung Anstieg der Osmolarität pH Abfall Anstieg von Blut- laktat u. Pyruvat Blutdruckanstieg

Abb. 1: Aufschlüsselung der bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Augeninnendruck und körperlicher Arbeit nach Untersuchungsobjekt, Form der körperlichen Belastung und der untersuchten Parameter sowie der Reaktion des Augeninnerdruckes.

durch laufende Bestimmung des Säure-Basenhaushaltes erfaßt. Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, daß es zu einer Senkung des Augeninnendruckes schon während der Arbeit kommt. Der Tensionsabfall war statistisch hoch signifikant und ging der zunehmenden Belastung parallel. Zu dem Anstieg von Pulsfrequenz und Blutdruck bestanden signifikant negative Beziehungen, dagegen fand sich eine signifikant positive Korrelation zum arteriellen pH, base-excess, Standardbicarbonat und Kohlensäurepartialdruck (paco_2).

II. Aufgabenstellung

Die geschilderten Messungen wurden mit der Applanations-Methode im Sitzen durchgeführt. Erste Aufgabe der eigenen Untersuchungen war es, die Ergebnisse mit Hilfe der Applanationstonometrie zu prüfen. Darüberhinaus sollte der Einfluß der Körperposition beobachtet werden. Hierzu mußte eine Versuchsanordnung gefunden werden, die Messungen während der Ergometerbelastung im Sitzen gestattete. Zu überprüfen war auch der Einfluß des steilen Blutdruckabfalls unmittelbar nach Abbruch der Arbeit in den ersten Erholungsminuten auf die gefundene maximale Tensionssenkung. Durch unterschiedliche Anordnung der Belastungen sollte nochmals die Tensionssenkung in Abhängigkeit von Schwere und Dauer der Muskelarbeit geprüft werden.

Ein zusätzliches Ziel der Arbeit war es, durch geeignete Auswahl der Versuchspersonen weitere Hinweise auf den Einfluß des körperlichen Trainingszustandes zu erhalten.

Um abschließende und zusammenhängende Aussagen über die Beziehungen zu den Parametern des Säure-Basenhaushaltes machen zu können, wurde die Nachbeobachtungszeit soweit ausgedehnt, bis der in 10-minütigen Abständen gemessene Augeninnenruck seinen Ausgangswert wieder erreicht hatte oder dreimal hintereinander einen konstanten Wert ergab.

III. Versuchsanordnung und Methodik

1. Versuchspersonen

An den Versuchen nahmen 25 männliche Jugendliche teil. Die Versuchspersonen befanden sich im Alter zwischen 17 und 32 Jahren, das Durchschnittsalter lag bei 24 Jahren. Sämtliche Teilnehmer waren organisch gesund. 8 von ihnen führten seit 2 - 4, einer davon sogar seit 12 Jahren ein regelmäßiges 1 - 5-stündiges Training pro Woche durch. Bei den ausgeübten Sportarten handelte es sich vorwiegend um Handball, daneben Schwimmen und Fußball. Aus der Tabelle 2, S. 3 a, können der Trainingszustand sowie Größe und Gewicht ersehen werden. Bei 3 Patienten bestand eine mittelgradige Myopie, während die restlichen 21 normalsichtig waren. Sonst fand sich bei der augenärztlichen Untersuchung kein pathologischer Befund.

2. Versuchsanordnung

Für die beiden Versuchsserien wurde ein Fahrradergometer nach Astrand (Fa. Monark-Wilken) verwendet. Da dieses Ergometer drehzahlabhängig ist, kontrollierte der Proband seine Tretfrequenz über einen großen Drehzahlmesser vor der Lenkstange. Die Umdrehungsfrequenz betrug 50 U/min. Vor Beginn eines jeden Versuches lag eine 20-minütige Ruhephase. In dieser Zeit konnten die EKG-Elektroden und die Blutdruckmanschetten an beiden Oberarmen angelegt werden. Die Blutdruck-, Puls- und EKG-Kontrolle erfolgte zunächst in Ruhe. Anschließend wurde der Augeninnendruck beidseitig gemessen. Die Be-

Tabelle 2 : Daten der Versuchspersonen

	Name	Alter	Größe	Gewicht	Beruf	Trainings- zustand
1. Serie (n=13) ♂	M.L.	17	186	82 kg	Schüler	train.
	R.H.	20	183	69 kg	Schüler	train.
	H.U.	28	174	66 kg	Student	untrain.
	P.W.	25	178	82 kg	Pol.Beamt.	train.
	K.G.	24	181	80 kg	Lehrer	train.
	E.W.	24	178	81 kg	Zollbeamt.	train.
	H.K.	21	183	65 kg	Student	untrain.
	K.L.	29	174	61 kg	Student	train.
	H.P.	29	174	70 kg	wiss.Assist.	train.
	Dr.M.K.	32	176	70 kg	Arzt	untrain.
	F.R.	19	175	75 kg	Schüler	train.
	K.B.	23	185	71 kg	Schüler	untrain.
	Sch.A.	31	176	70 kg	Lehrer	untrain.
	Name	Alter	Größe	Gewicht	Beruf	Trainings- zustand
2. Serie (n=12) ♂	D.H.	21	179	70 kg	Student	untrain.
	K.A.	23	185	71 kg	Schüler	untrain.
	M.L.	17	186	82 kg	Schüler	train.
	R.H.	20	183	69 kg	Schüler	train.
	H.A.	19	175	75 kg	Schüler	untrain.
	W.H.	28	189	84 kg	Theologe	untrain.
	Sch.O.	19	176	59 kg	Schüler	untrain.
	H.K.	27	164	58 kg	Lehrer	untrain.
	L.K.	26	178	75 kg	Student	untrain.
	H.U.	28	174	66 kg	Student	untrain.
	M.V.	29	181	85 kg	Pol.Beamt.	untrain.
	F.K.	26	193	87 kg	Lehrer	train.

lastung bestand in einer Tretarbeit, die im Sitzen auf dem Ergometer durchzuführen war.

In der I. Serie kam es darauf an, steady-state Bedingungen zu schaffen. Ein steady-state gilt dann als erreicht, wenn die Herzfrequenz in den letzten 3 Minuten einer jeden Stufe um nicht mehr als höchstens 10 Schläge zunimmt (Mellerowicz). Aus diesem Grund wurde die Belastung in Stufen von 50 Watt vorgenommen. Die Belastungsdauer betrug auf jeder Stufe 5 Minuten. Beginnend mit 50 Watt wurde die Arbeit um jeweils 50 Watt gesteigert bis zum Erreichen der 200 Wattstufe. Die Versuchsperson trat auf dem Ergometer bis zur Ausbelastung oder völligen Erschöpfung. Als Hinweis auf Ausbelastung galt eine Pulsfrequenz von 180 Schlägen pro Minute. Applaniert wurde alternierend beidseitig, zuerst in Ruhe, dann in der 4. - 5. Minute jeder Wattstufe, dann während der Maximalbelastung, und schließlich nach Abbruch der Arbeit in der 3., 5., 10. und 15. Erholungeminute. Um sicherere Messungen zu erhalten, wurde der Proband bei höheren Belastungen aufgefordert, kurzfristig mit dem Treten aufzuhören. Die hierdurch aufgetretene Zeitverzögerung belief sich im Mittel auf eine halbe Minute.

In der II. Serie wurde die Belastung nach dem vitamaxima Prinzip durchgeführt. Bei dieser Belastungsform sollte keine Ergostase der Kreislauf- und Ventilationsgrößen erreicht werden. Hierbei wurde wieder von der 50-Wattstufe ausgehend die Belastung um jeweils 50 Watt gesteigert bis zu einer Maximalleistung von 250 Watt. Die einzelnen Stufen dauerten 2 Minuten. Nur die 150-Wattstufe wurde auf 3 Minuten verlängert, um mit den Messungen nicht in Zeitdruck

zu kommen. Gemessen wurden sämtliche Parameter jeweils in Ruhe, auf der 150-Wattstufe, bei der Maximalbelastung sowie in der 3. und 10. Erholungsminute und jeder darauffolgenden 10. Minute bis zu einer Gesamtdauer von einer Stunde nach Arbeitsabbruch.

Unerwartet trat in 7 Fällen im Anschluß an den Versuch ein Kollaps auf. Die Versuchspersonen wurden kurzfristig hingelegt, und während dieser Zeit erfolgte die Augendruckmessung mit einem geeichten Schiötz-Tonometer (Bundesanstalt Berlin) unter Auflage eines 5,5 g Gewichtes.

Um bei allen Versuchen unter gleichen Bedingungen zu arbeiten, fanden die Messungen zu derselben Tageszeit und bei normaler Zimmertemperatur statt. Hiermit konnten tageszeitlich bedingte Augendruckschwankungen ausgeschlossen werden.

3. Registrierte Parameter

Augeninnendruck:

Für die Augeninnendruckmessungen wurde ein geeichtes Applanationstonometer nach Goldmann benutzt (s. Abb. 12, S. 5 a); dieses stand auf einem Untertisch in Kopfhöhe der arbeitenden Person. Das Fahrradergometer wurde davor so aufgebaut, daß einmal der Versuchsperson genügend Platz zum Treten blieb, zum anderen der Abstand zur Meßvorrichtung nicht zu groß war. Eine leichte Brehung des Oberkörpers genügte, um für die Augeninnendruckmessungen den Kopf ruhig in die Kinnstütze legen zu können. Um mögliche zeitbedingte Differenzen bei der Messung auszuschalten, wurde jeweils alternierend nacheinander

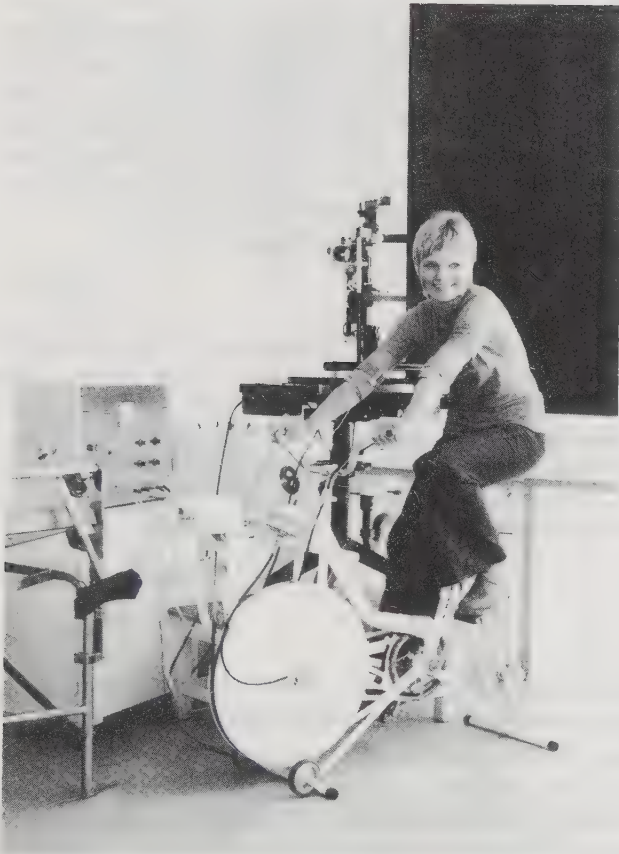


Abb. 12: Versuchsanordnung

das rechte und dann das linke Auge gemessen.

Um das Verhalten des Augeninnendruckes auch in Ruhe zu kontrollieren, wurden an 10 Versuchspersonen Leerversuche im Sitzen durchgeführt. Die Messungen erfolgten in den gleichen Abständen wie während der Belastung. Signifikante Änderungen traten nicht auf, die Druckschwankungen lagen bei 1 mmHg und damit im methodischen Fehlerbereich.

Blutdruck

Die Blutdruckkontrolle erfolgte beidseitig halb-automatisch mit dem Infraton-Ophthalmodynamographen nach Hager und Otto. Die durch Mikrophone übertragenen Korotkoff Geräusche wurden nach Transformation auf dem 6 Kanalschreiber der Fa. Schwarzer registriert.

Pulsfrequenz

Die Pulsfrequenz wurde aus den R-Zacken des mitgeschriebenen Belastungs-Elektrokardiogramms ermittelt.

Arterieller - pH-Wert

Aus dem mit Finalgon forte hyperämisierten Ohrläppchen wurden nach Stichinzision Blutproben mit heparinisierten Kapillarröhrchen (Fa. Radiometer Kopenhagen) entnommen. Nach Verwerfen des 1. Tropfens wurden 4 Kapillarröhrchen luftleer gefüllt und nach Verschuß sofort zur

Kühlung auf Eis gelegt. Mit Abschluß des Versuchs begann die Messung des arteriellen pH am Gerät nach Astrup. Die Werte für Basenüberschuß (BE), Standardbicarbonat (SB) und Kohlensäurepartialdruck (paco_2) erhielt man nach Aequilibrieren der Blutproben mit zwei verschiedenen CO_2 - Gemischen von 4 % und 8 %. Anhand des Siggaard-Anderson Diagramms konnten die gesuchten Werte abgelesen werden.

Statistik

Mittelwert $\bar{x}$, Standardabweichung s , Korrelationskoeffizient r und die Regressionsgeraden wurden anhand der Formeln aus den "Statistischen Auswertungsmethoden" von Sachs errechnet. Die Mittelwertsvergleiche wurden mit dem t-Test für gepaarte Daten durchgeführt.

IV. Ergebnisse

1. Puls

In der I. Serie wurden 13 Personen entsprechend ihrer Anamnese in 8 Sportler und 5 Nichtsportler eingeteilt. Als Kriterium für die Einreihung in die Rubrik Sportler galt ein mehr als 2-stündiges, intensives Training pro Woche. Beim Vergleich der Pulskurven beider Gruppen findet sich hauptsächlich ein deutlicher Unterschied in der Höhe der Pulsfrequenz in Bezug zur erbrachten Leistung. Der Trainierte liegt mit seiner Pulsfrequenz etwa um 10 Schläge pro Minute auf den einzelnen Stufen tiefer als der Nichtsportler. Dies entspricht der bekannten Tatsache, daß der Sportler mit einer niedrigeren Frequenz eine größere Leistung vollbringen kann. Von den insgesamt 13 Versuchspersonen wurden 3 kollaptisch.

Dabei handelte es sich um einen "Nichtsportler" und zwei "Sportler". Der schnelle und starke Abfall der Pulsfrequenz führte in den 3 Fällen nach Abbruch der Belastung zu einem kurzfristigen Zusammenbruch des Kreislaufes. Beim Nichtsportler sank die Pulszahl innerhalb von 4 Minuten von 183 auf 63 Schläge pro Minute. Bei den beiden Sportlern gab es jeweils einen Abfall von 210 auf 102, und von 180 auf 99 Schläge pro Minute. Der Blutdruck war systolisch unter 100 mmHg gesunken oder nicht meßbar. Dabei trat der Kollaps jeweils in der 3. und 4. Erholungsminute auf.

Beim Vergleich der beiden Pulskurven aus I. und II. Serie (Abb. 8 und 9, S. 8 a und 8 b) fällt in der letzteren ein steilerer Anstieg und ebenso steilerer Abfall der Pulsfrequenz auf. Dies wird durch die besondere Form der Belastung mit den schnell aufeinander folgenden Wattstufen erklärt.

In der I. Serie wird der Ausgangswert mit Abschluß des Versuchs in der 15. Minute nicht erreicht, jedoch bei der II. Serie in der 50. Erholungsminute durch die verlängerte Nachbeobachtungszeit.

2. Blutdruck

Der stufenweise zunehmenden Belastung nach dem steady-state Prinzip für Serie I oder vita-maxima Prinzip für Serie II folgt eine ebenso ansteigende Blutdruckkurve bis zu einem Maximalwert von 205 mmHg systolisch. Der Unterschied des Kurvenverlaufes beider Serien liegt in der Steilheit des Anstieges (s. Abb. 8 und 9 Mitte, S. 8 a und 8 b). Der diastolische Blutdruck fällt kurz nach Beginn der Belastung etwas ab, mit zunehmender Belastung steigt er jedoch wieder leicht an. Dies drückt sich in einer

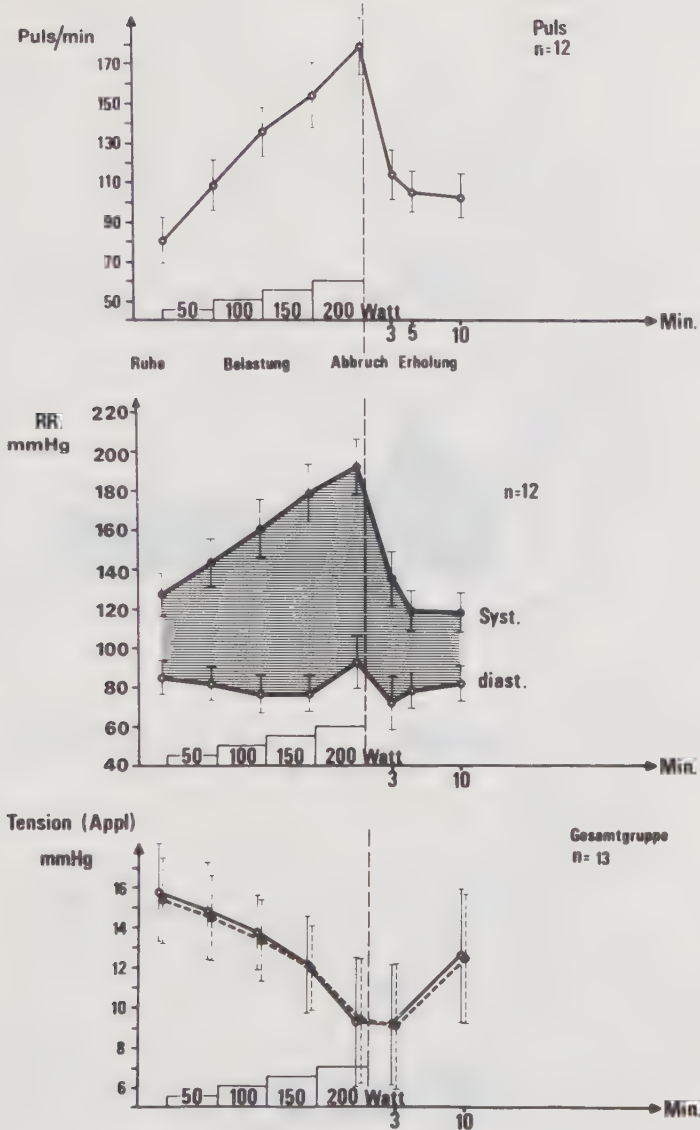


Abb. 8: Serie 1

Ansteigende steady-state Belastung in 50 Watt-Stufen.
 Ordinaten von oben nach unten: Puls, Blutdruck,
 Tension (RA ._. , LA .-.-.)
 Abszisse: Belastungsstufen und Zeit.

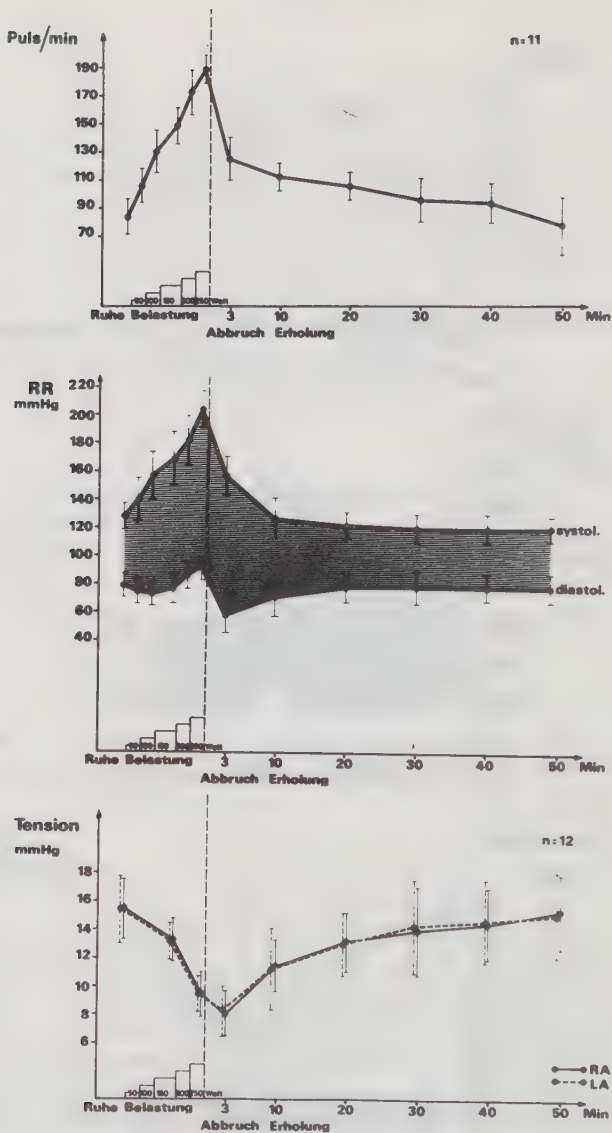


Abb. 9: Serie II

Ansteigende vita-maxima Belastung in 50 Watt-Stufen.

Ordinaten von oben nach unten:

Puls, Blutdruck, Tension.

Abszisse: Belastungsstufen und Zeit.

deutlichen Vergrößerung der Amplitude aus, sowie in einem Anstieg des arteriellen Mitteldruckes (mm) (s. Abb. 6 und 7, S. 9 a und 9 b). Nach Arbeitsabbruch kommt es zu einem steilen Abfall des systolischen und diastolischen Blutdrucks und zu einer Verkleinerung der Amplitude mit Absinken des arteriellen Mitteldruckes unter den Ausgangswert. In der 10. bis 20. Minute nach Arbeitsabbruch hat der diastolische Blutdruck seinen Ausgangswert erreicht, um dann ebenso wie der systolische Blutdruck bei einem konstanten Wert zu bleiben.

Bei 7 Probanden aus beiden Serien kam es nach Beendigung der Tretarbeit zu einem leichten Kollaps meist nach der 3. Erholungsminute. Durch sofortiges Hinlegen und gleichzeitiges Hochhalten der Beine ging dieser Zustand rasch vorüber. Diese Zwischenfälle waren bei ähnlichen Versuchen von Häfke 1971 nicht aufzutreten, da hier die Belastungen in Liegen durchgeführt wurden und somit ein orthostatischer Kollaps nicht auftreten konnte.

3. Augeninnendruck.

In der I. Serie liegen die durch Applanationen ermittelten Ruhewerte im Durchschnitt bei 15,73 mmHg ($\pm$ 2,42) für das rechte Auge und für das linke Auge bei 15,31 mmHg ($\pm$ 2,11) bei einer Gesamtzahl von $n = 13$. In der II. Serie betragen die Ruhewerte des rechten Auges 15,5 mmHg ($\pm$ 2,50) und des linken Auges 15,48 mmHg ($\pm$ 1,97) bei $n = 12$. Schon am Ende der 50-Wattstufe ist ein deutliches Absinken des Augeninnendruckes erkennbar (s. Abb. 1 und 3 oben, S. 9 c und 9 d). Mit zunehmender körperlicher Belastung bei gleichzeitigem Anstieg des Pulses und Blutdrucks sinkt der Augeninnendruck weit mehr ab (s. Abb. 8 und 9, S. 8 a und 8 b). Auffällig ist in der II. Serie der wesentlich steilere Tensionsabfall bereits nach durch-

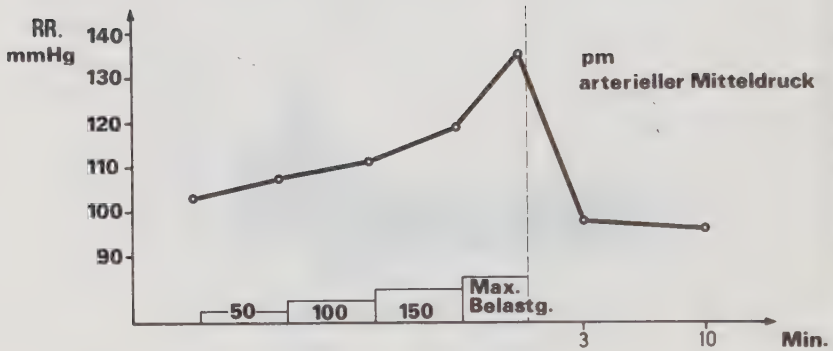


Abb. 6: Serie I

Arterieller Mitteldruck (pm) .

Errechnet nach der Formel von Wezler und Böger:

$$pm = p \text{ diast.} + \frac{(p \text{ syst.} - p \text{ diast.}) \times 42}{100}$$

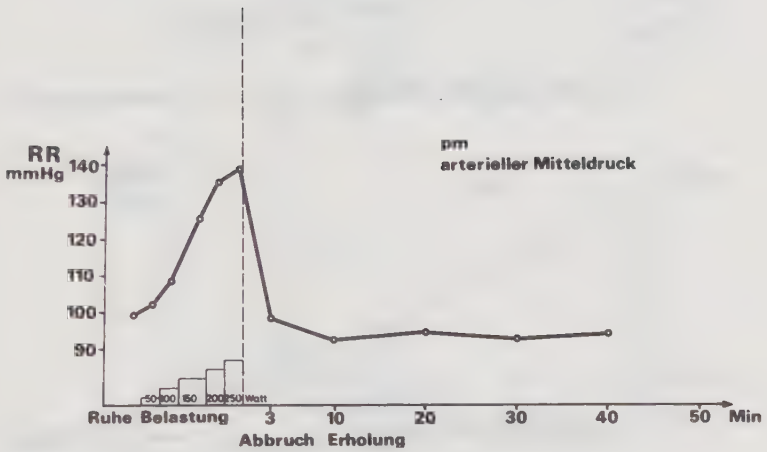


Abb. 7: Serie II
Arterieller Mitteldruck (mm) .

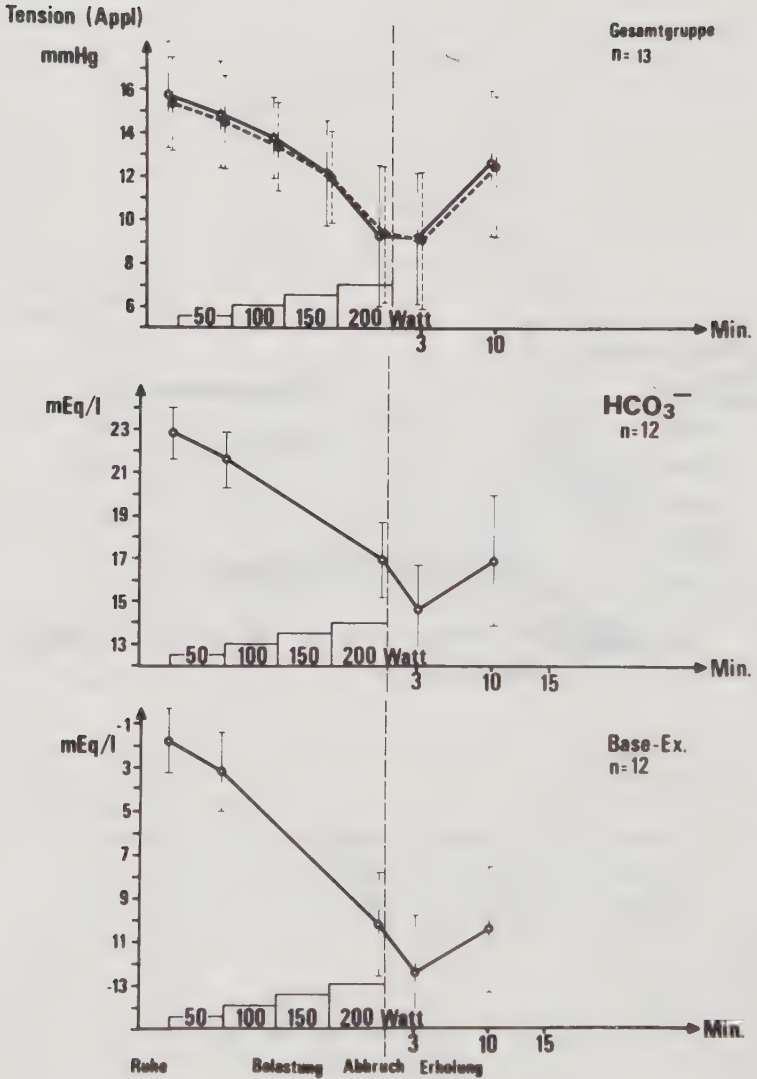


Abb. 1: Serie I (8 Sportler, 5 Nichtsportler)
 Ansteigende steady-state Belastung in 50 Watt-Stufen.
 Ordinaten von oben nach unten: Tension (RA __., LA ---.)
 Standardbicarbonat, base-excess.
 Abszisse: Belastungsstufen und Zeit.

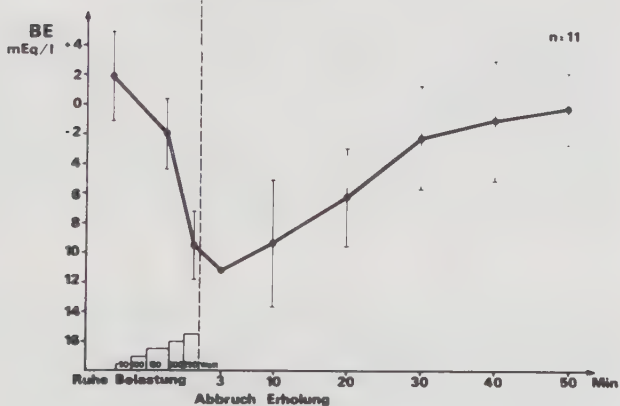
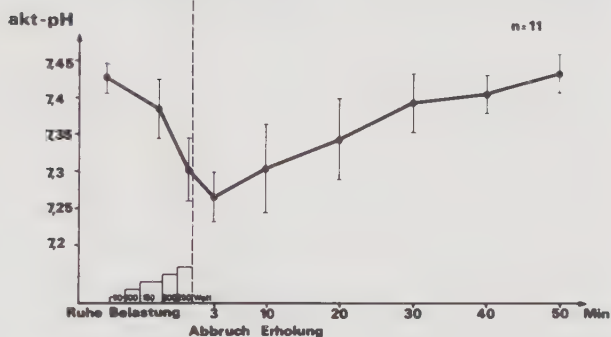
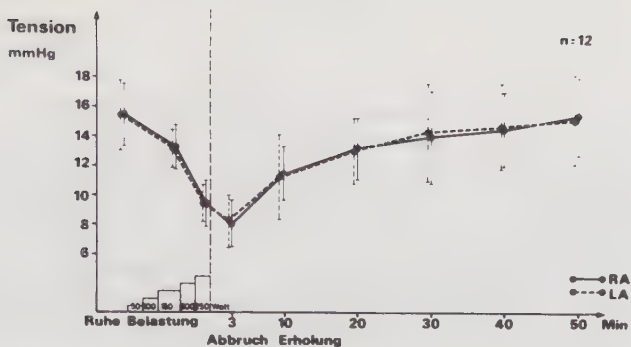


Abb. 3: Serie II (3 Sportler, 9 Nichtsportler)

Leistungsvita-maximale Belastung in
maximaler Belastung.

Maximale Belastung (max. Leistung):

max. Leistung (max. Leistung) = 10000.

Abbruch: 1. Abbruch und 2. Abbruch.

laufener 150-Wattstufe. In der I. Serie fällt dagegen die Tension entsprechend der Leistungsanforderung nach dem steady-state Prinzip etwas gleichmäßiger bis zur 200-Wattstufe ab. Nach Arbeitsabbruch zeigt die Tension in beiden Kurven weiter eine fallende Tendenz bis etwa zur 3. Erholungsminute. Erst hier erreicht der Abfall seinen Tiefstwert, da gegenüber der Tensionssenkung bei Maximalbelastung ein noch weiteres geringes Absinken festzustellen ist. Die unterschiedliche Endbelastung von 200 Watt in der I. Serie und 250 Watt in der II. Serie hat auf den maximalen Abfall nur geringen Einfluß. Die Differenz ist mit 0,8 mmHg zwischen Serie I und II statistisch nicht signifikant.

10 Minuten nach Abbruch des Versuches hat die Tension in beiden Serien noch nicht den Ausgangswert erreicht. In der I. Serie besteht zwischen dem Ruhe- und dem erreichten 10 Minutenwert eine Differenz von 3,11 mmHg für das rechte Auge und 2,81 mmHg für das linke Auge. Bei der II. Serie sind die Tensionswerte in der 10. Minute erst auf 60 % ihres Ruhewertes angestiegen. Insgesamt besteht eine noch größere Differenz und zwar von 4,05 mmHg für das rechte Auge und 4,33 mmHg für das linke Auge. Am Ende der gesamten Beobachtungszeit, also in der 40. bis 50. Minute haben die Versuchspersonen der II. Serie ihren Ausgangswert bis auf eine kleine Differenz von nur 1,2 mmHg für das rechte Auge und 1,0 mmHg für das linke Auge erreicht. Da sich dieser Endwert nicht mit dem Ruhewert deckt, liegt die gesamte Gruppe hiermit im Durchschnitt noch etwas unter dem Ausgangswert (s. Tab. 3 und 4, S. 10 a).

Bei kollabierten Probanden mußten ein bis höchstens zwei Tensionswerte mit dem Schiötz Tonometer im Liegen gemessen werden. Nach Normalisierung der Kreislaufverhältnisse wurde dann weiter im Sitzen applanisiert.

Tabelle 3 : Mittelwerte mit Standardabweichungen der 1. Serie (n=13) ϕ

	Ruhe	50 Watt	100 Watt	150 Watt	max Belastung	3.' post	10.' post
Puls	80,77 $\pm$ 11,39	108,69 $\pm$ 13,03	130,62 $\pm$ 12,16	154,62 $\pm$ 16,0	183,60 $\pm$ 15,70	114,92 $\pm$ 12,45	102,64 $\pm$ 12,11
aktueller pH	7,396 $\pm$ 0,017	7,383 $\pm$ 0,026	nicht gemessen	nicht gemessen	7,296 $\pm$ 0,046	7,271 $\pm$ 0,048	7,331 $\pm$ 0,061
pCO ₂	36,91 $\pm$ 3,69	3,69 $\pm$ 4,53	"	"	31,31 $\pm$ 5,34	28,92 $\pm$ 4,92	27,05 $\pm$ 6,40
BE	-1,85 $\pm$ 1,56	-3,16 $\pm$ 1,86	"	"	-10,15 $\pm$ 2,95	-10,16 $\pm$ 8,07	-10,38 $\pm$ 4,87
SB	22,89 $\pm$ 1,16	21,61 $\pm$ 1,34	"	"	17,01 $\pm$ 1,76	15,60 $\pm$ 2,26	17,00 $\pm$ 3,08
RA	15,73 $\pm$ 2,42	14,85 $\pm$ 2,42	13,77 $\pm$ 1,88	12,15 $\pm$ 2,45	9,27 $\pm$ 3,26	9,13 $\pm$ 3,05	12,62 $\pm$ 3,33
LA	15,31 $\pm$ 2,11	14,50 $\pm$ 2,14	13,39 $\pm$ 2,04	11,96 $\pm$ 2,09	9,35 $\pm$ 3,18	9,08 $\pm$ 3,15	12,50 $\pm$ 3,23
pm	102,18	107,46	111,28	126,00	135,27	98,17	96,47
RR syst	127,31 $\pm$ 11,11	143,85 $\pm$ 13,25	160,38 $\pm$ 15,34	178,46 $\pm$ 15,73	192,00 $\pm$ 14,40	135,00 $\pm$ 13,99	117,50 $\pm$ 10,06
diast	84,08 $\pm$ 6,41	81,15 $\pm$ (7,95)	76,23 $\pm$ 8,55	76,23 $\pm$ 7,35	92,92 $\pm$ 13,82	71,50 $\pm$ 13,57	81,27 $\pm$ 8,82

Tabelle 4 Mittelwerte mit Standardabweichungen der 2. Serie (n=13) ϕ

	Ruhe	50 Watt	100 Watt	150 Watt	200 Watt	250 Watt
Puls	84,00 $\pm$ 13,11	106,64 $\pm$ 12,10	139,73 $\pm$ 35,56	148,36 $\pm$ 13,10	172,20 $\pm$ 16,26	188,40 $\pm$ 5,97
aktueller pH	7,42 $\pm$ 0,02	nicht gemessen	nicht gemessen	7,38 $\pm$ 0,04	7,27 $\pm$ 0,03	7,29 $\pm$ 0,04
pCO ₂	35,99 $\pm$ 2,28	"	"	35,35 $\pm$ 3,00	31,50 $\pm$ 2,28	32,33 $\pm$ 3,04
BE	1,90 $\pm$ 3,03	"	"	1,95 $\pm$ 2,46	-11,50 $\pm$ 2,41	9,61 $\pm$ 2,20
SB	25,50 $\pm$ 2,64	"	"	23,25 $\pm$ 2,04	15,70 $\pm$ 2,03	17,13 $\pm$ 1,65
RA	15,50 $\pm$ 2,50	"	"	13,27 $\pm$ 2,15	nicht gemessen	9,22 $\pm$ 1,48
LA	15,58 $\pm$ 1,97	"	"	13,18 $\pm$ 2,40	"	9,11 $\pm$ 1,27
pm	99,53	102,58	108,40	115,57	136,26	139,49
RR syst	127,92 $\pm$ 8,91	139,55 $\pm$ 15,40	157,27 $\pm$ 16,79	169,09 $\pm$ 19,34	182,00 $\pm$ 17,96	204,00 $\pm$ 12,43
diast	79,00 $\pm$ 7,27	74,09 $\pm$ 8,89	73,00 $\pm$ 8,25	76,82 $\pm$ 10,79	85,91 $\pm$ 9,17	92,78 $\pm$ 9,05

	3'	10'	20'	30'	40'	50'
Puls	124,91 $\pm$ 15,49	112,25 $\pm$ 8,34	105,50 $\pm$ 8,57	95,18 $\pm$ 16,16	93,50 $\pm$ 14,87	78,00 $\pm$ 13,04
aktueller pH	7,26 $\pm$ 0,03	7,30 $\pm$ 0,06	7,34 $\pm$ 0,05	7,34 $\pm$ 0,04	7,40 $\pm$ 0,02	7,43 $\pm$ 0,02
pCO ₂	29,34 $\pm$ 2,47	28,12 $\pm$ 2,74	32,14 $\pm$ 0,91	33,61 $\pm$ 2,12	32,78 $\pm$ 1,01	34,75 $\pm$ 2,47
BE	12,80 $\pm$ 1,63	-9,38 $\pm$ 4,33	-5,28 $\pm$ 3,33	-2,26 $\pm$ 3,63	-1,07 $\pm$ 4,17	-0,25 $\pm$ 2,47
SB	14,97 $\pm$ 1,11	17,45 $\pm$ 3,17	20,24 $\pm$ 2,53	22,77 $\pm$ 2,83	23,48 $\pm$ 3,51	24,10 $\pm$ 1,12
RA	8,09 $\pm$ 1,58	11,45 $\pm$ 1,92	13,18 $\pm$ 2,04	13,91 $\pm$ 3,18	14,44 $\pm$ 2,60	15,35 $\pm$ 2,53
LA	8,27 $\pm$ 1,79	11,27 $\pm$ 2,90	13,00 $\pm$ 2,14	14,27 $\pm$ 3,18	14,56 $\pm$ 2,96	15,00 $\pm$ 2,74
pm	99,73	94,25	96,70	95,35	97,35	
RR syst	157,73 $\pm$ 13,30	126,67 $\pm$ 14,67	122,08 $\pm$ 7,82	120,00 $\pm$ 8,06	120,00 $\pm$ 9,43	120,00 $\pm$ 9,43
diast	57,73 $\pm$ 11,91	70,83 $\pm$ 13,46	78,33 $\pm$ 10,73	78,50 $\pm$ 11,77	78,50 $\pm$ 9,85	78,50 $\pm$ 9,85

In der I. Serie erfolgte eine Aufschlüsselung der Versuchspersonen nach dem Trainingszustand und Kreislaufverhalten. Wie aus der Abb. 5, S. 11 b zu ersehen ist, zeigten die Sportler den geringsten Tensionsabfall, gefolgt von den Normalpersonen. Die höchsten Druckunterschiede zwischen den Ausgangs- und Endwerten unmittelbar nach Arbeitsabbruch wurden bei 3 kollaptischen Probanden gemessen.

4. arterieller pH-Wert

Entsprechend den beiden unterschiedlichen Belastungsformen der I. und II. Serie verläuft die Kurve des arteriellen pH verschieden steil (s. Abb. 2 und 3 Mitte, S. 11 a und S. 9 d). Zu Beginn des Versuchs sinkt der arterielle pH nur leicht, nach durchlaufener 200-Wattstufe fällt er schnell in den sauren Bereich und zwar auch noch nach Abbruch der Arbeit bis zur 3. Erholungsminute. Hier erreicht die Kurve in der I. Serie ihren tiefsten Wert mit $7,27 (\pm 0,05)$ und in der II. Serie mit $7,26 (\pm 0,03)$. In den Abbildungen der Säurebasenparameter der Abb. 1 - 2, S. 9 c und 11 a wurde auf die Messungen der 100 und 150-Wattstufe verzichtet, da der Kurvenverlauf aus den Versuchen von Höllge bekannt war, und die Probanden geschont werden sollten.

Bei den 7 kollaptischen Probanden war es nicht immer möglich, während des Kollapses Blut zu gewinnen, so daß Verzögerungen von 1 - 2 Minuten in Kauf genommen werden mußten. Der Endwert des arteriellen pH liegt in der I. Serie nach 15 Minuten Erholung noch deutlich unter dem Ausgangsniveau. In der II. Serie dagegen wird der Ausgangswert nach etwa 50 Minuten wieder erreicht bei einer Nachbeobachtungszeit von einer Stunde.

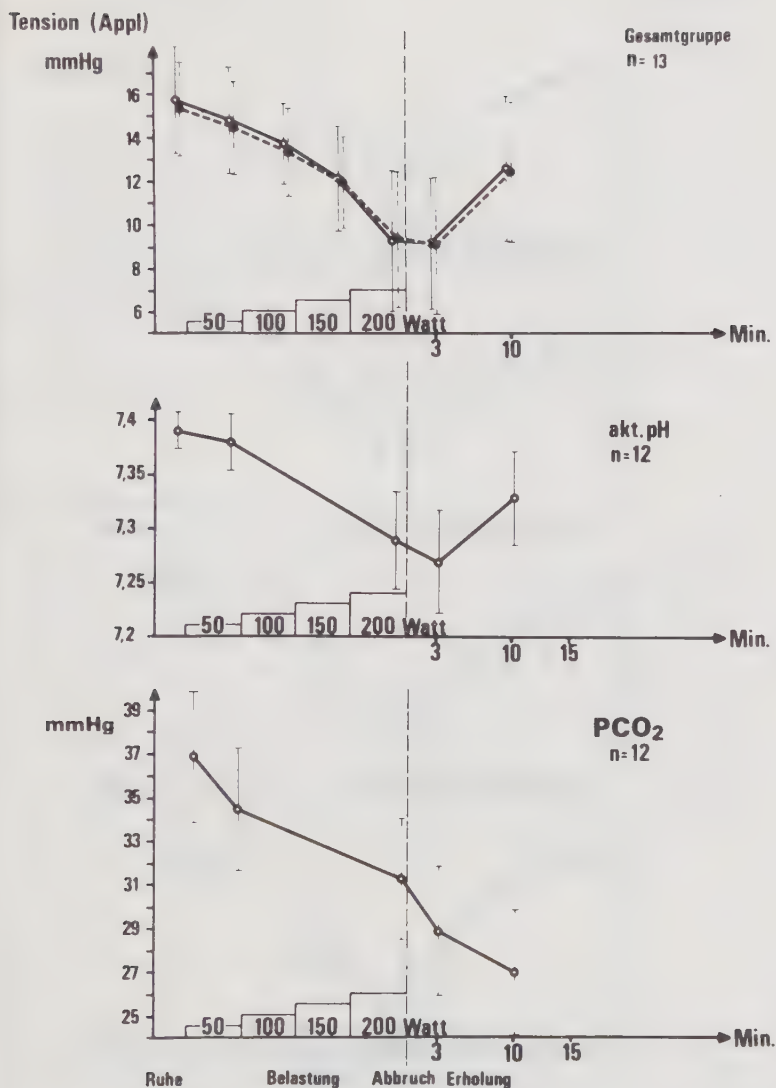


Abb. 2: Serie I

Ansteigende steady-state Belastung in 50 Watt-Stufen.

Ordinaten von oben nach unten: Tension (RA .—., LA .-.-.)
akt. pH, paO_2 .

Abszisse: Belastungsstufen und Zeit.

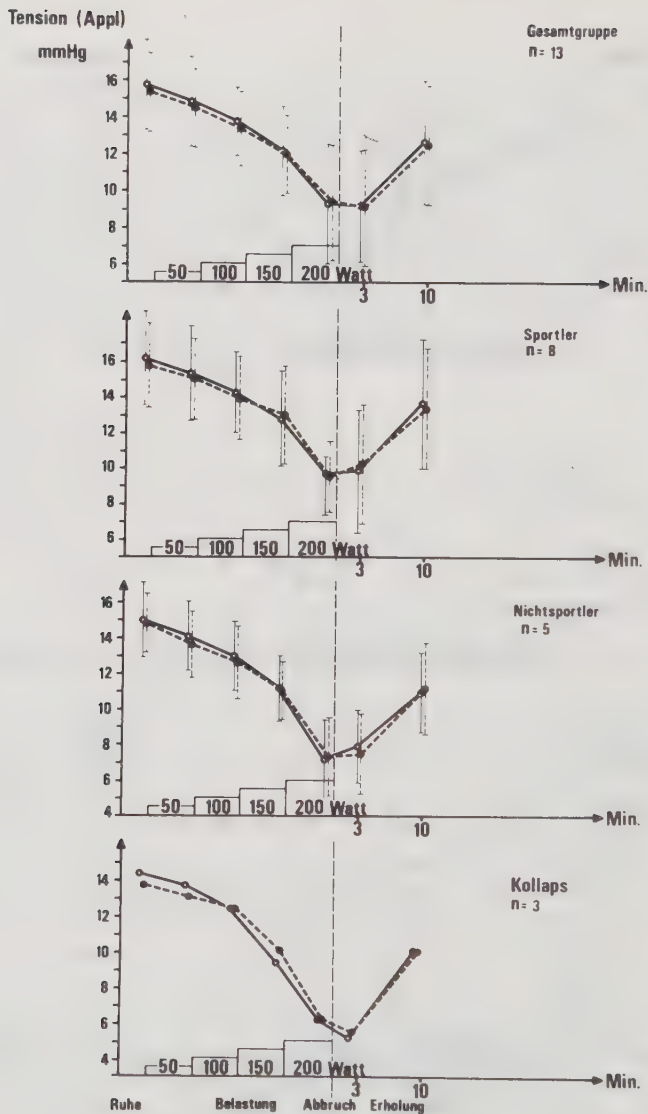


Abb. 5: Serie I

Augeninnendruck, aufgeschlüsselt nach Trainingszustand:
(RA .—., LA .-.-.)

Tensionsabfall - Sportler : 6,5 mmHg
Nichtsportler: 8 mmHg
kollabierte : 10 mmHg
Probanden

5. base-excess (BE)

Der Basenüberschuß zeigt ebenso wie der arterielle pH zu Beginn des Versuchs eine geringe Abnahme, doch mit zunehmender Belastung kommt es zu steilem Abfall der Kurve (s. Abb. 1 und 3 unten, S. 9 c und S. 9 d). Das Minimum des Basenüberschusses findet sich in der 3. Minute der Erholungsphase. Sodann erfolgt ein allmählicher Anstieg des base-excess, wobei der Ausgangswert auch in der verlängerten Beobachtungszeit von 50 Minuten nicht erreicht wird (s. Tab. 3 und 4, S. 10 a).

6. Standardbicarbonat (SB)

Das Standardbicarbonat fällt mit zunehmender Belastung kontinuierlich bis zum Abbruch des Versuchs ab, wobei in der II. Serie ein steilerer Abfall mit Einsetzen der 150-Wattstufe auffällt (s. Abb. 1 Mitte und Abb. 4 oben, S. 9 c und S. 12 a). Nach Abbruch des Versuchs fällt das Standardbicarbonat bis zur 3. Minute noch weiter und erreicht in der I. Serie einen Wert von 15,60 mmHg ($\pm 2,26$), in der II. Serie 14,97 mmHg ($\pm 1,11$). Der Anstieg erfolgt allmählich, und in der 50. Minute ist der Ausgangswert noch nicht ganz erreicht.

7. Kohlensäurepartialdruck (p_{aCO_2})

Der Ruheausgangswert beträgt in der I. Serie mit steady-state Belastung 36,91 mmHg. Mit Beginn der 100-Wattstufe fällt die Kurve bis zur 10. Minute gleichmäßig auf 27,05 mmHg ab (s. Abb. 2 unten, S. 11 a).

Die II. Serie beginnt bei vito-maxima Belastung mit 35,99 mmHg. Nach einem leichten Absinken in den ersten drei Minuten fällt die Kurve mit Beginn der 200-Watt-

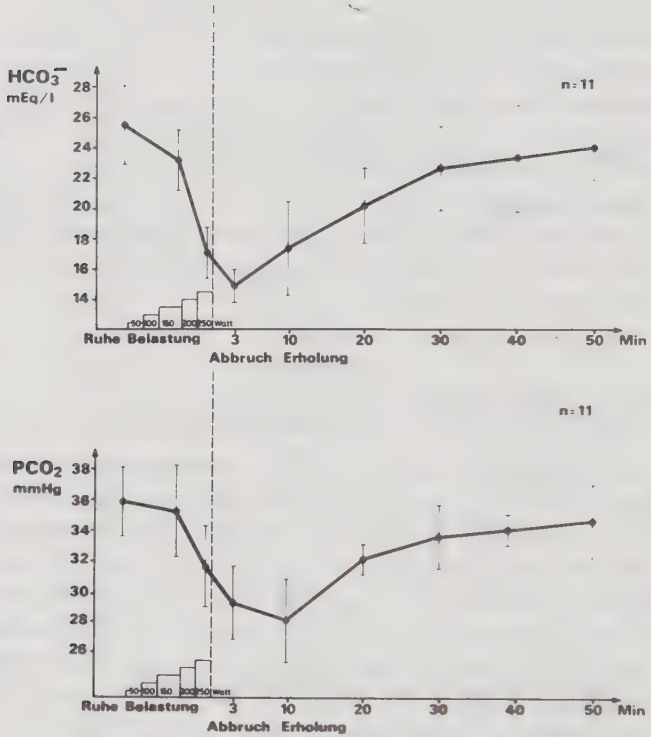


Abb. 4: Serie II

Ansteigende vita-maxima Belastung in
50 Watt-Stufen.

Ordinaten von oben nach unten:
Standardbicarbonat, paCO_2 .

Abszisse: Belastungsstufen und Zeit.

stufe steil bis zur 3. Erholungsminute ab (s. Abb. 4 unten, S. 12 u). Im Vergleich zu den Kurven der anderen 54ur-Basenparameter fällt jedoch auf, daß hier ein weiterer Abfall über die 3. Minute hinaus bis zur 10. Minute eintritt. Erst von diesem Zeitpunkt steigt die Kurve langsam wieder an. Der Endwert der II. Serie liegt in der 50. Minute noch unter dem Ausgangswert.

V. Korrelationsstatistische Betrachtungen der gemessenen Parameter

Die Regelmäßigkeit der Augeninnendrucksenkung in Abhängigkeit von Intensität und Dauer der Arbeitsbelastung ließ bestimmte Abhängigkeiten, beziehungsweise Zusammenhänge mit den Veränderungen der Parameter von Kreislauf und Säurebasenhaushalt erwarten.

1. Herzfrequenz und Augeninnendrucksenkung

Die Pulsfrequenz verhält sich mit Einschränkung annähernd proportional zur körperlichen Arbeitsleistung. Sie ist nach Mellerowicz unter Arbeitsbedingungen direkt proportional der Sauerstoffaufnahme und kann als indirektes Maß dafür gewertet werden.

Die Geschwindigkeit und Höhe des Anstieges wiederum sind stark von der Intensität, Form und Dauer der Belastung abhängig.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden aus diesem Grund die schon beschriebenen zwei Belastungsformen gewählt. Bei Stufenbelastung von 5 Minuten Dauer steigt die Pulsfrequenz in den ersten 2 Minuten treppenförmig steil an, um dann in den letzten Minuten ein Plateau zu erreichen. Bei der vita-maxima Serie steigt die Herzfrequenz infolge dauernder Zulage von Belastung ständig, und zwar bis zur Leistungsgrenze an. Die Steilheit des Anstieges und die erreichte Endfrequenz bei vorgegebener Belastung sind wieder von der Leistungsfähigkeit der Versuchsperson und ihrem Trainingszustand abhängig. Diese Unterschiede konnten auch bei den eigenen Versuchen nachgewiesen werden. In der Serie I liegt z. B. die Pulsfrequenz der als "Trainierte" bezeichneten Probanden auf den einzelnen Stufen mit ca. 10 Schlägen pro

Minute niedriger als die der "Normalpersonen".

Sämtliche Unterschiede sind jedoch rein quantitativer Natur.

Vergleicht man den Anstieg der Pulsfrequenz in Serie I und II und den steilen Abfall nach Beendigung der Arbeit mit dem Verhalten des Augenbinnendruckes, so kann man eine deutlich gegenläufige Entwicklung konstatieren (s. Abb. 8 und 9, S. 8 a und S. 8 b).

Während der körperlichen Arbeit steigt der Puls an, die Tension dagegen fällt. Mit Abbruch der Arbeit sinkt der Puls schnell ab, in gleicher Richtung wird die Tension leicht gesenkt. Von der 3. Erholungsminute aus verlaufen beide Parameter entgegengesetzt, die Tension steigt an, der Puls fällt weiter ab. Diese Beziehungen, die in der I. und II. Serie qualitativ die gleiche Richtung zeigen, wurden für Serie I statistisch geprüft.

Die Korrelation wurde aus den Mittelwerten errechnet. Es fand sich insgesamt eine negative Korrelation von $r = - 0,64$ (I. Serie) und $r = 0,67$ (II. Serie), wie sie aus den Kurven zu vermuten war (s. Abb. 18, S. 15 a, und Tab. 6, S. 15 b). Da diese Beziehungen schon aus den Untersuchungen von Höllae bekannt waren - er fand eine signifikant negative Korrelation von $r = 0,71$ - so wurde auf eine dort erfolgte Differenzierung des Vergleichs einmal ohne Einbeziehung der Erholung und einmal mit Einschluss der Erholung verzichtet.

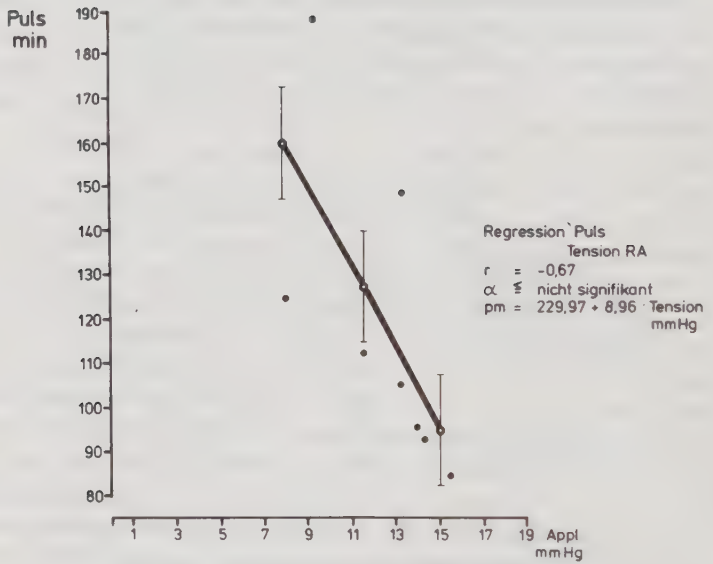


Abb. 18: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für Puls und oculäre Tension.

Tabelle 6 : Korrelationsstatistische Beziehungen zwischen
Tension (RA) und Puls, sowie
Tension und arteriellem Mitteldruck (pm) bei ansteigender steady-state
Belastung.

1. Serie		r	α	Regressionsgrade	syx
Puls Tension (mm Hg)	RA	-0,64	> 5%	$p=228,51 - 8,32 \times \text{Tension}$	23,75
pm Tension (mm Hg)	RA	-0,36	> 5%	$pm=134,09 - 1,93 \times \text{Tension}$	11,74
2. Serie		r	α	Regressionsgrade	syx
Puls Tension (mm Hg)	RA	-0,67	> 5%	$p=229,97 - 8,96 \times \text{Tension}$	24,00
pm Tension (mm Hg)	RA	-0,43	> 5%	$pm=136,67 - 2,58 \times \text{Tension}$	13,14

2. Blutdruck und Augeninnendruck

Die Beschreibung des Blutdruckverlaufes in Serie I und II, ebenso die Augeninnendruckveränderungen finden sich in den beiden Kapiteln über Blutdruck und Augeninnendruck. Der bei steady-state und vita-maxima Belastung bekannte steile systolische, dagegen diastolische wesentlich geringere Blutdruckanstieg konnte in jeder Serie und zwar bis zum Arbeitsabbruch gefunden werden. Ebenfalls bestätigte sich die aus den Untersuchungen der Arbeitsphysiologie bekannte Blutdrucksenkung (sowohl systolisch als auch diastolisch) unmittelbar nach Belastungsende mit späterem langsamen Einpendeln auf die Ausgangswerte. Um einen genaueren Vergleich von Blutdruck und Augeninnendruck zu ermöglichen, wurde nach der Formel von Wezler und Böger der arterielle Mitteldruck $pm = p \text{ diast.} + \frac{(p \text{ syst.} - p \text{ diast.}) \times 42}{100}$ berechnet. Die eben beschriebenen Veränderungen werden in Abb. 6, S. 9 a, und Abb. 7, S. 9 b deutlich und zeigen, daß der art. pm nach schwerer körperlicher Arbeit für längere Zeit etwas unter dem Ausgangswert liegt und auch länger erniedrigt bleibt. Für die beiden Serien betrug diese Differenz etwa 10 mmHg.

Vergleicht man nun das Verhalten des art. pm während als auch nach körperlicher Belastung mit der Entwicklung des Augeninnendruckes zur gleichen Zeit, so findet sich eine ausgeprägte gegenläufige Tendenz. Während der Arbeit steigt der art. pm an, der Augeninnendruck sinkt signifikant. Nach Arbeitsabbruch fällt der art. pm steil ab und bleibt anschließend konstant, während der Augeninnendruck erst schneller, dann langsamer über einen Zeitraum von mindestens einer Stunde seinen Ausgangswert zustrebt. Dieses Verhalten drückt sich statistisch in signifikant negativen Korrelationen aus, wie sie

auch schon bei Hölzge in seinen Untersuchungen gefunden wurden (s. Abb. 17, S. 17 a, und Tab. 6, S. 15 b). Eine Ausnahme bzw. eine Sonderstellung innerhalb der gesamten Beobachtungszeit nehmen die ersten Minuten nach Arbeitsabbruch ein. Unmittelbar nach Arbeitsende kommt es durch den starken Blutdruckabfall zu einer erhöhten Kreislaufabilität, die sich überschießend in einem kollapsähnlichen Zustand manifestieren kann, wie das bei mehreren Probanden in beiden Untersuchungsserien gefunden wurde. Während dieser wenigen Minuten fallen der art. pm und der Augeninnendruck gleichzeitig. Während nun bei den meisten Probanden, die eine normale Kreislaufregulation zeigten und auch nach Arbeitsabbruch keine kollapsartige Symptomatik boten, der Augeninnendruck einen Tiefstwert zwischen 8 und 9 mmHg erreichte, konnten bei den kollapsartigen Probanden Druckwerte zwischen 4 und 5 mmHg gefunden werden.

Aus dieser Beobachtung ist zu vermuten, daß die bei den kollapsartigen Patienten zusätzliche Senkung des Augeninnendruckes durch die pathologische Erniedrigung des art. pm bedingt ist. Auf dieses Problem soll in der Diskussion noch eingegangen werden.

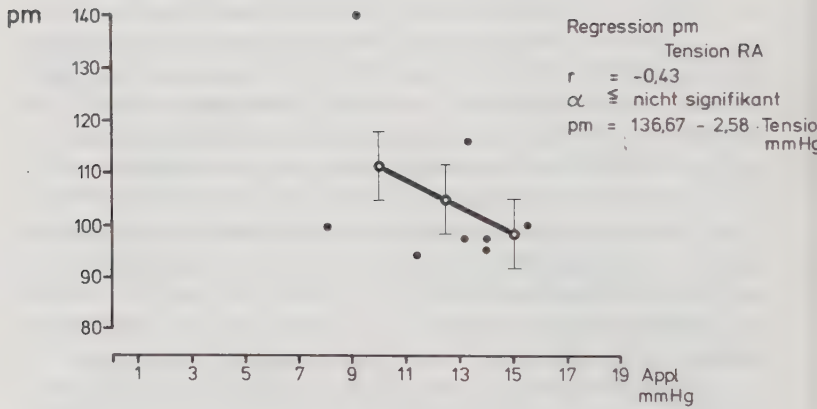


Abb. 17: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für arteriellen Mitteldruck (pm) und oculäre Tension.

3. Säure-Basenhaushalt in Korrelation zum Augeninnendruck

Das Absinken des pH-Wertes im arteriellen wie venösen Blut, während und nach starker körperlicher Belastung ist durch eine Ausschwemmung der fixen Säuren aus der Muskelzelle bedingt. Es handelt sich vorwiegend um Brenztraubensäure, Milchsäure, und bei Maximalbelastung auch um Abbauprodukte aus dem Fettstoffwechsel, wie Acetessigsäure, β -Hydroxybuttersäure und Azeton. Der Organismus ist jedoch bestrebt, die Wasserstoffkonzentration des Blutes konstant zu halten. Dies erreicht er bei der beschriebenen metabolischen Störaufschaltung durch respiratorische Kompensation, d. h. Abatmung von Kohlensäure. Gleichzeitig wird Standardbicarbonat zur Bindung der überschüssigen Säure verbraucht, und es kommt damit zu einem Defizit an Gesamtbasen, d. h. zu einem negativen Basenüberschuß, dem sog. "base-excess".

Da der Anfall an fixen Säuren unter anderem vom Ausmaß der Belastung und Dauer sowie der Sauerstoffversorgung der beanspruchten Muskulatur abhängt, ist zu erwarten, daß bei einer ständig steigenden Belastung anfangs die Regelmechanismen des Organismus noch in der Lage sind, den pH konstant zu halten. Bei Zunahme der Arbeitsbelastung muß aber aus der kompensierten metabolischen Azidose eine nicht mehr kompensierte werden. Die Vorgänge lassen sich anhand der eigenen Untersuchungen bei Betrachtung der Abbildungen 1 - 4 (S. 9 c, 11 a, 9 d, 12 a) klar aufzeigen. Vergleicht man z. B. die Kurven der Säure-Basenparameter der Serie II miteinander, so zeigt sich besonders deutlich ein anfänglich nur leichter Abfall der Kurven bis zur 150-Wattstufe, bedingt durch die noch ausreichende Kompensation des Organismus. Beim Übergang auf die 200-Wattstufe fallen die Kurven jedoch zunehmend steiler ab, da der Abfall an fixen Säuren zunimmt, und aktuelles Bicarbonat verstärkt verbraucht wird. Noch genauere Beobachtungen sind

möglich, wenn man den unterschiedlichen Leistungszustand (Trainierte und Untrainierte) bei gleicher körperlicher Arbeit einerseits mit in Rechnung stellt, andererseits verschiedene Belastungsformen wählt. Die erste Voraussetzung wurde durch Auswahl der Probanden nach genauer Anamnese erfüllt, da einige von ihnen ein regelmäßiges, körperliches Training durchführten. Die zweite Voraussetzung konnte durch die Versuchsanordnung in Form einer steady-state Belastung in der I. Serie und einer vita-maxima Belastung in der II. Serie geschaffen werden.

Vergleicht man zunächst ohne Berücksichtigung des Trainingszustandes die Kurven des arteriellen pH, des Standardbicarbonat und base-excess mit dem Verlauf des Augeninnendruckes unter Belastung, so fällt eine erstaunliche Parallelität der Entwicklung auf. Bis etwa 100 Watt kommt es bei allen Parametern zu einem leichten bis mäßigen Absinken, ab 150 Watt ist der Abfall steiler, auch nach Arbeitsabbruch sinken sowohl der Augeninnendruck als auch die Säure-Basen-Parameter bis zur 3. Erholungsminute weiter ab, um sich bis zur 10. Minute erst schneller, dann langsamer asymptotisch den Ausgangswerten zu nähern; diese werden annähernd nach einer Stunde, oder sogar noch später, wieder erreicht. Das weitere Absinken des pH nach Arbeitsbelastung ist von zahlreichen Autoren (Keul, Keppler und Doll) untersucht worden und hängt mit einer anhaltenden Ausschwemmung von fixen Säuren aus der Arbeitsmuskulatur in das venöse Blut auch nach Belastungsende zusammen. Entsprechend verhalten sich Standardbicarbonat und base-excess.

Der arterielle Kohlensäure-Partialdruck (pCO_2) als Ausdruck der respiratorischen Kompensation fällt bei niedriger Belastung zunächst ebenfalls nur geringfügig ab, um dann von 150 Watt an stärker abzusinken, wobei

dieser Abfall über die 3. Erholungsminute hinaus bis etwa zur 10. Minute anhält, ein Vorgang, der wahrscheinlich durch den länger anhaltenden Atemreiz erklärt wird.

Die auffällige Parallelität der Entwicklung von Augeninnendruck und den Parametern des Säurebasenhaushaltes unter den beschriebenen Bedingungen wurde statistisch untersucht und zeigte signifikant positive Korrelationen (s. Tab. 5, S. 20 a). In der I. Serie fand sich zwischen Augeninnendruck und arteriellem pH eine Korrelation von $r = 0,63$ ($\alpha = 0,1\%$), die Regressionsgeraden für Serie II sind den Abbildungen 13 - 16 (S. 20 d - e) zu entnehmen. Die Korrelation wurde aus jeweils etwa 50 bis 70 Einzelwertpaaren errechnet.

Der entsprechende Korrelationskoeffizient der II. Serie betrug $r = 0,63$ ($\alpha = 0,1\%$). Der Korrelationskoeffizient von pHCO_2 und Tension liegt mit $r = 0,39$ ($\alpha = 1\%$) in der I. Serie und mit $r = 0,45$ ($\alpha = 0,1\%$) in der II. Serie wesentlich niedriger als die dazu im Vergleich stehenden anderen Korrelationskoeffizienten. Dies erklärt sich aus dem schon beschriebenen Verhalten des arteriellen Kohlendisäurepartialdruckes, das von den übrigen Säurebasenparametern etwas abweicht.

Zur weiteren Differenzierung waren, wie schon angedeutet, die Probanden in körperlich Trainierte und Untrainierte eingeteilt worden. Bekanntlich fällt der arterielle pH bei Nichtsportlern schon nach geringer Belastung, während er bei Sportlern erst auf höheren Belastungsstufen stärker sinkt. In etwa analog verhalten sich die anderen Parameter des Säure-Basenhaushaltes, wenn man von der Sonderstellung des pHCO_2 absieht. In Abb. 10 und 11 (S. 20 b und c) sind die Probanden der Serie I nach ihrem Trainingszustand aufgeschlüsselt. Wenn auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bestehen - dazu war die Teilnehmerzahl zu klein - so finden sich doch schon deutliche Differenzen der Mittelwerte, die mit entsprechenden

Tabelle 5 : Korrelationsstatistische Beziehungen zwischen Augeninnendruck (RA) und den Parametern des Säurebasenhaushaltes bei ansteigender steady-state Belastung.

r = Korrelationskoeffizient
 α = Signifikanz
 y (Regressionsgrade) = $a + bx$
 s_{yx} = Standardabweichung der Regressionsgrade

1.Serie	r	α	Regressionsgrade	s_{yx}
pH Tension (RA) (mm Hg)	0,63	$\leq 0,1$	$pH = 7,21 + 0,01 \times \text{Tension}$	0,05
BE Tension (RA) (mm Hg)	0,62	$\leq 0,1$	$BE = -17,14 + 0,75 \times \text{Tension}$	4,06
SB Tension (RA) (mm Hg)	0,65	$\leq 0,1$	$SB = 12,06 + 0,54 \times \text{Tension}$	2,66
pCO ₂ Tension (RA) (mm Hg)	0,39	$\leq 1,0$	$pCO_2 = 24,84 + 0,55 \times \text{Tension}$	5,54
2.Serie	r	α	Regressionsgrade	s_{yx}
pH Tension (RA) (mm Hg)	0,63	$\leq 0,1$	$pH = 7,17 + 0,01 \times \text{Tension}$	0,06
BE Tension (RA) (mm Hg)	0,57	$\leq 0,1$	$BE = -18,49 + 1,09 \times \text{Tension}$	4,82
SB Tension (RA) (mm Hg)	0,58	$\leq 0,1$	$SB = 10,63 + 0,81 \times \text{Tension}$	3,52
pCO ₂ Tension (RA) (mm Hg)	0,45	$\leq 0,1$	$pCO_2 = 26,24 + 0,52 \times \text{Tension}$	3,33

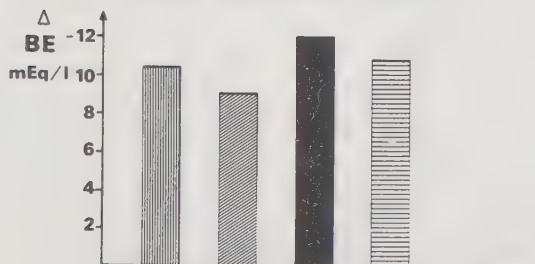
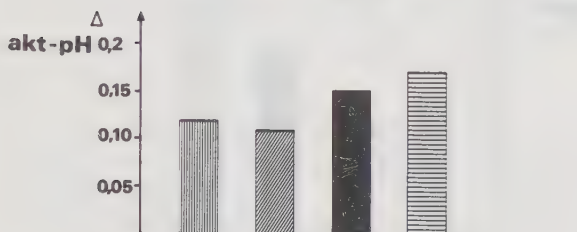
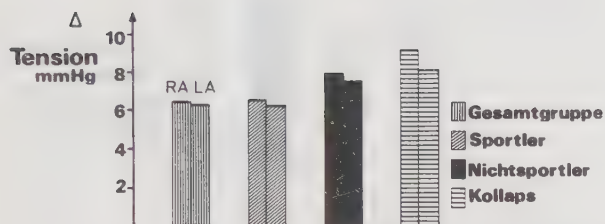


Abb. 10: Serie I

Maximale Differenz (Ausgangswert - 3. Ruheminute)
für die einzelnen Parameter, aufgeschlüsselt in:

Gesamtgruppe (n = 13)

Sportler (n = 8)

Nichtsportler (n = 5)

Kollapsfälle (n = 3)

Ordinaten von oben nach unten:

Tension, akt. pH und base-excess.

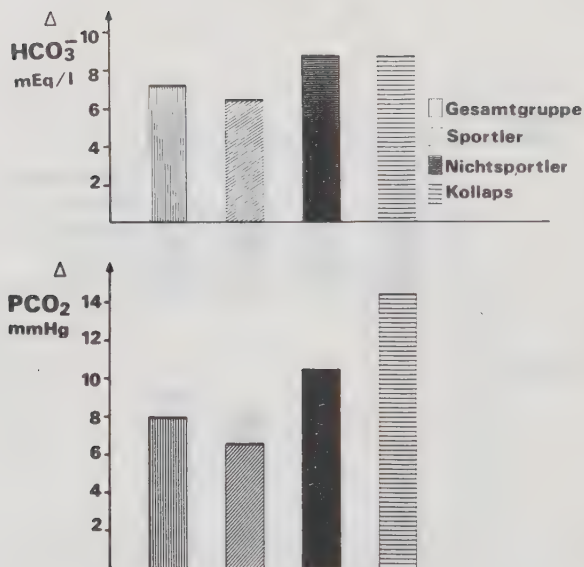


Abb. 11: Serie I

Maximale Differenz, für die einzelnen Parameter aufgeschlüsselt.

Ordinaten von oben nach unten:

Standardbicarbonat, paco_2 .

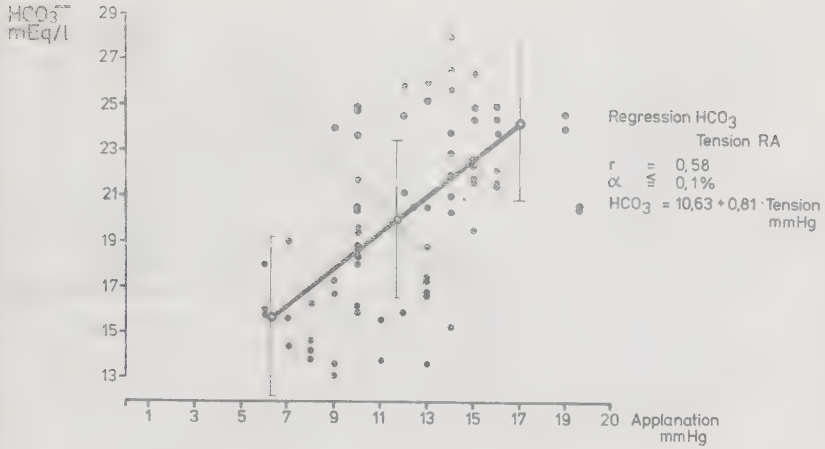


Abb. 13: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für Standardbicarbonat und oculäre Tension.

Beobachtungspaare $n = 69$.

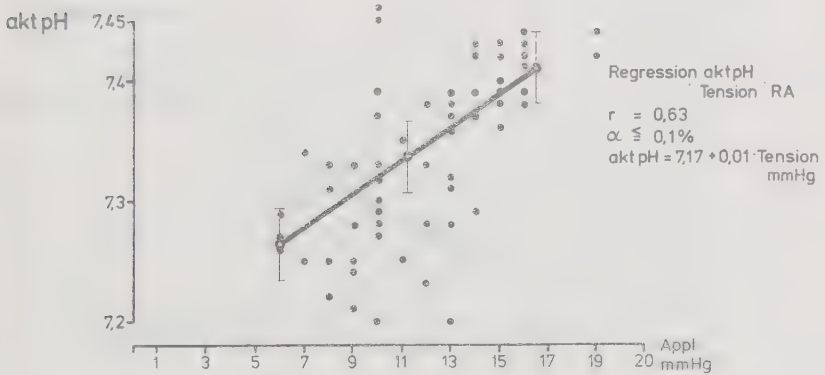


Abb. 14: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für akt. pH und oculäre Tension.

Beobachtungspaare $n = 69$.

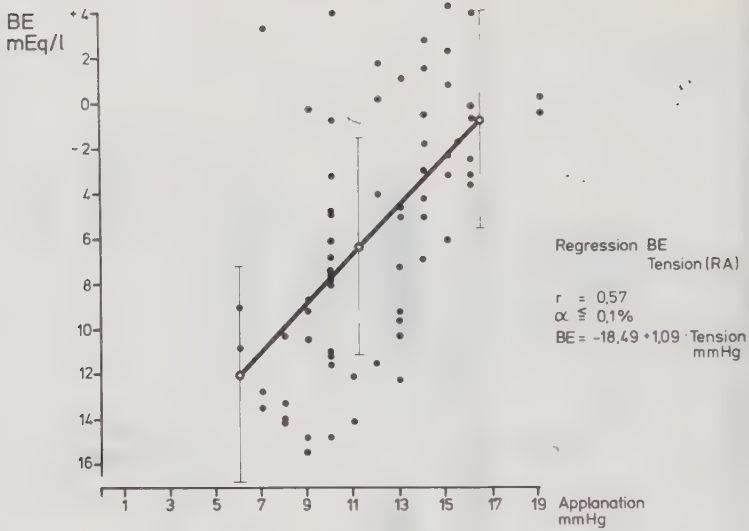


Abb. 15: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für base-excess und oculäre Tension.
 Beobachtungspaare $n = 67$.

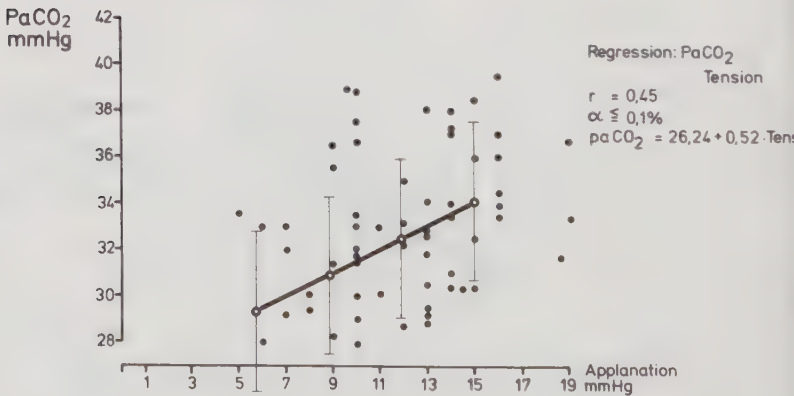


Abb. 16: Serie II

Regressionsgeraden und Korrelationskoeffizienten für $PaCO_2$ und oculäre Tension.
 Beobachtungspaare $n = 68$.

arbeitsphysiologischen Untersuchungen korrespondieren. In den Abb. 10 und 11 findet sich die Differenz zwischen dem jeweiligen Ausgangswert und dem Tiefstwert in der 3. Minute nach Arbeitsabbruch dargestellt. Wie sich leicht erkennen läßt, sind die maximalen Abweichungen von der Ausgangslage bei den Sportlern am geringsten; diese Beobachtung findet sich durchgehend bei BE, paCO_2 und pH, ist dagegen bei den Nichtsportlern und den kollaptischen Probanden am höchsten. Diese Beobachtung ließ sich erstaunlicherweise auch beim Tensionsabfall machen, so daß hierin wieder ein indirekter Beweis für die Abhängigkeit der Tensionssenkung von dem Ausmaß der metabolischen Azidose gesehen werden kann.

VI. Zusammenfassung der Ergebnisse

- 1) Leichte dynamische Muskularbeit unter steigender steady-state Belastung führt zu mäßigem, aber signifikantem Tensionsabfall.
- 2) Schwere körperliche Arbeit unter Stufenbelastung nach dem steady-state wie vita-maxima Prinzip ergibt einen signifikanten Tensionsabfall mit maximaler Senkung von 42,3 % bzw. 47,8 %.
- 3) Tensionsabfall bei körperlicher Belastung scheint von der "physical-fitness" des Organismus abhängig zu sein.
- 4) Die Senkung der Tension während und nach dynamischer Muskularbeit hält durchschnittlich eine Stunde und länger an.
- 5) Eine signifikant negative Korrelation besteht zwischen Blutdruck und Puls einerseits und der Tension andererseits.
- 6) Unter instabilen Kreislaufverhältnissen (Kollaps) scheint sich auf die gefundene "normale" Tensions-senkung eine weitere Senkung des Augenbinnendruckes aufgrund des Blutdruckabfalls aufzupflanzen.
- 7) Die Tensionssenkung verläuft parallel zum Abfall des pH, BE, SB, d. h. parallel zur metabolischen Azidose und zum paco_2 . Diese gleichlaufende Entwicklung drückt sich in signifikant positiven Korrelationen aus.

VII. Diskussion

Die Augeninnendruckmessungen wurden mit dem Applanations-tonometer nach Goldmann durchgeführt, um mögliche Meßfehler durch Volumenverschiebung oder Veränderung der Rigiditätsverhältnisse auszuschließen und um die von Kypke und Höllge 1971 mit der Schiötz Methode gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß beide Meßmethoden zu gleichen Ergebnissen führen.

Wie in der Versuchsanordnung beschrieben, wurde die Tretarbeit auf höheren Belastungsstufen kurzfristig unterbrochen, um ungestört applanieren zu können. Diese Unterbrechung der Arbeit hätte eventuell zu falschen Ergebnissen führen können. Es war jedoch möglich, an einigen Probanden, die vorher genau über die Versuchsanordnung instruiert worden waren, Leerversuche auch während Belastung durchzuführen. Hierbei konnte festgestellt werden, daß keine Differenzen zu den Applanationswerten während kurzer Arbeitsunterbrechung bestanden.

Die Überlegung, daß der Tensionsabfall in Zusammenhang mit dem Muskelstoffwechsel steht, ist nicht neu. De Jongh und von Wolff (1932), Filatov, Ierschkóvitsch (1957) und Chevalov (1937) als auch Kühle und Rohrschneider äußerten Vermutungen in dieser Richtung und führten zum Teil auch experimentelle Untersuchungen durch. Ihre Versuche konnten jedoch aufgrund unzureichender Technik oder wegen zu schwieriger methodischer Ansätze noch nicht zum Erfolg führen. Erste Beweise zwischen dem Zusammenhang von Augeninnendrucksenkung und Säurebasenhaushalt lieferte 1970 Marcus, der ebenfalls einen pH Abfall bei gleichzeitigem Anstieg von Milchsäure und Brenztraubensäure fand. Diese Ergebnisse, die an Menschen gefunden wurden, konnten von ihm durch Tierversuche bestätigt werden.

In unseren Versuchen verzichtete man auf die Messungen der fixen Säuren, dafür wurden die Werte der Säurebasenparameter ermittelt. Es erschien sinnvoll, diesen Weg zu wählen, da mit der Erhöhung des Pyruvat- und Laktatspiegels im Blut nicht notwendigerweise eine wesentliche Verschiebung des pH erfolgen muß. Zu Beginn der Muskelarbeit jedenfalls ist der Körper durchaus in der Lage, den Anfall an fixen Säuren zu puffern, so daß erst bei stärkerer Belastung das Vollbild der metabolischen Azidose entsteht. Darüberhinaus liefert der arterielle pH Wert während schwerer Muskelarbeit ein sehr genaues Bild der Milchsäurekonzentration, wie Untersuchungen von Keul und Keppler (1967) sowie Kypke und Ehrenstein (1970) gezeigt haben. Sämtliche Autoren fanden einen Korrelationskoeffizienten zwischen pH und Laktat von $r = 0,95$.

Ein weiterer möglicher Faktor bei der Tensionssenkung während schwerer körperlicher Arbeit ist die Zunahme der Osmolarität. Stewart, Le Blanc und Becker 1970, sowie die Gruppe um Marcus 1970 fanden nach der geleisteten Arbeit einen signifikanten Osmolaritätsanstieg, der jedoch nach einer halben Stunde schon wieder ausgeglichen war, während der Augeninnendruck seinen Ausgangswert erst nach einer Stunde wieder erreicht hatte. Tierexperimentelle Untersuchungen bestätigten diese am Menschen gewonnenen Ergebnisse.

Stewart, Le Blanc und Becker fanden ebenfalls eine signifikante Erhöhung der Serumosmolarität nach körperlicher Belastung. Sie konnten jedoch durch Vergleich rein osmolar bedingter Tensionssenkung durch Glycerin mit den nach Arbeitsbelastung auftretenden Osmolaritätserhöhung nachweisen, daß die Veränderung der Osmolarität höchstens ein Teilfaktor zur Erklärung der Tensionssenkung sein kann. Aus diesem Grund wurde während der eigenen Untersuchungen auf die Bestimmung der Osmolarität verzichtet.

Ein dritter möglicher Faktor für die Tensionssenkung schien zunächst der Blutdruckabfall unmittelbar nach Arbeitsabbruch zu sein.

Durch die Untersuchungen von Kyoike und Höllge, sowie durch die eigenen Experimente konnte jedoch ein Einfluß des Blutdruckverhaltens auf die gefundene Augeninnendrucksenkung ausgeschlossen werden. Minziz und allein bei Zusammenbruch des Kreislaufs, wie er im Kollaps besteht, ändern sich die Verhältnisse. Es kommt zu einem plötzlichen Blutdruckabfall, damit zur Herabsetzung des Minutenvolumens und einer zusätzlichen Augeninnendrucksenkung. Diese Verhältnisse konnten unabsichtlich anhand einiger Kollapsfälle unmittelbar nach Belastung studiert werden. Während normalerweise in den ersten Erholungsminuten Druckwerte um 8 - 9 mmHg gefunden wurden, war in diesen Fällen die Tension bis auf 4 - 5 mmHg abgesunken. Über ähnliche, noch unveröffentlichte Ergebnisse von Sayegh berichtet Weigelin in "Advances in Ophthalmology": Im Rahmen von Ganglienblockade mit Herabsetzung des HMV war es kurz zur Augeninnendrucksenkung gekommen. Vergleichbar sind die Kollapsfälle auch dem Zusammenbruch des Kreislaufs nach dem Tod, wo ein plötzlicher Tensionsabfall bis ca. 4 mmHg bekannt ist (Duke-Elder).

Als letzter und vermutlich wesentlicher Faktor der Augeninnendrucksenkung bei körperlicher Belastung ist mit großer Wahrscheinlichkeit die metabolische Azidose anzusehen. Es war auf Grund der Versuchsanordnung nicht möglich und auch nicht vorgesehen, den Einfluß der einzelnen Komponenten wie pH, SB, BE, paco_2 zu trennen. Insofern ist es auch nicht möglich, Rückschlüsse zu ziehen, ob beispielsweise die Senkung des pH oder der Abfall der arteriellen paco_2 - Spannung oder eine andere Komponente die wesentlichen Stellglieder im Regelkreis sind. Entscheidend ist festzuhalten, daß die gefundene Tensions-

senkung streng mit der physiologischen metabolisch ausgelösten Azidose korreliert ist. Als weiterer Hinweis in dieser Richtung kann der unterschiedliche Druckabfall nach Aufschlüsselung der Patienten in Serie I entsprechend nach ihrem Trainingszustand gewertet werden. Bei den als Sportler bezeichneten Personen wurde aufgrund ihres besseren Trainingszustandes eine geringere Azidose gemessen als bei den Normalpersonen. Bei ihnen war insgesamt auch der Druckabfall während und nach Belastung geringer als bei den Normalpersonen. Diese Ergebnisse unterstützen klinische Beobachtungen, wie sie schon seit Jahrzehnten beim diabetischen Coma gemacht wurden, bei dem es ja bekanntlich zu einer Bulbushypotonie kommt (Heine 1906 und Bietti 1932).

Neuere Untersuchungen von Virno und Bietti (1972) weisen ebenfalls daraufhin, daß Azidose auslösende Medikamente eine Augeninnendrucksenkung bewirken. Unter diesem Aspekt sollte die vorliegende Untersuchung einen Beitrag zur weiteren Erklärung der physiologischen Regulationsmechanismen des Augeninnendruckes leisten.

Literaturverzeichnis

1. Bardanzellu, T.: Ricerche sulla tensione oculare in occhi normali di soldati alle manovre alvini invernali
(Boll. Ocul. (Ital.) 1929, Bd. 8, S. 1281 - 1292.
Ref. Zbl. Ophthalm. 1930, Bd. 23, S. 317)
2. Bietti, G. B.,
P. Virno,
J. Pecori-Giraldo
und P. Pivetti-Pezzi: Blutazidose und Augeninnendruck
(Klin. Mbl. Augenheilk. 1972, Bd. 160, S. 7 - 12)
3. Bietti, G. B.: Considerazioni e ricerche sulla genesi dell'ipotonia oculare nel coma
(Atti XXXI Congresso Soc. Ophthalm. Ital. 1932, Bd. 10, S. 240)
4. Biro, I.
und F. Botar: Über das Verhalten des Augen-
drucks bei verschiedenen Sportleistungen
(Klin. Mbl. Augenheilk. 1962, Bd. 140, S. 23)
5. Chévalov, V. E.,
Filatow, V. P.
und I. G. Jerschkovitch: Experimentelle Studien über die Wirkung der Muskelarbeit auf den Augeninnendruck
(Vestn. Ophthalm. 1937, Bd. 11, S. 161 - 167
Ref. Zbl. Ophthalm. 1938, Bd. 40, S. 574)

6. Comberg, W.
und E. Stoewer:
Die augendrucksteigernde
Wirkung verschiedener
Muskelaktionen und ihre
Bedeutung für klin. Ver-
hältnisse
(Z. Augenheilk. 1926,
Bd. 58, S. 92)
7. Doll, E., I. Keul
und H. Reindell:
Das Verhalten von Sauer-
stoffdruck, Kohlensäure-
druck, pH, Standardbicarbo-
nat und base-excess im
arteriellen Blut bei ver-
schiedenen Belastungsformen
(Int. Z. angew. Physiol.
Arbeitsphysiol. 1966,
Bd. 20, S. 267)
8. Doll, E., Kennler, D.
und I. Keul:
Muskelstoffwechsel
(Wissenschaftliche Schriften-
reihe des Dtsch. Sportbundes,
Bd. 9, J. A. Barth-Verlag,
München 1969)
9. Duke-Elder, St.:
The intra ocular pressure
(System of Ophthalmology 1968,
Vol. IV, S. 243)
10. Filatow, V. P.:
Die Rolle der Muskelarbeit
bei der Regulierung des intra-
ocularen Druckes bei Glaukom
(Vestn. Ophthalm. 1937,
Bd. 11, S. 151
Ref. Zbl. Ophthalm. 1938,
Bd. 40, S. 574)

11. Filatov, V. P.,
I. G. Jerschkovitch
und A. G. Fischer:
Die Wirkung einiger Sport-
übungen auf den Augendruck
(Vestn. Ophthalm. 1937,
Bd. 11, S. 154
Ref. Zbl. Ophthalm. 1938,
Bd. 40, S. 574)
12. Heine, L.:
Hypaemia retinalis und
Hypotonia bulbi im Coma
diabeticum
(Klin. Wbl. Augenklin. 1906,
Bd. 44, S. 451)
13. Föllme, G.:
Das Verhalten des Augeninnen-
druckes unter reproduzier-
barer körperlicher Belastung;
Zusammenhänge mit Kreislauf-
parametern und Säure-Basen-
haushalt
(Dissertation 1972 Berlin,
- im Druck)
14. Holtmann, W. G.,
H. Kaufmann
und J. R. Schotte:
Über die Wirkung eines akuten
Sauerstoffmangels auf den
intraocularen Druck
(Albrecht v. Graefes Arch.
Klin. exp. Ophthalm. 1971,
Bd. 182, S. 147)
15. Jerschkovitch, I. G.
und V. J. Chevalov:
Die Augendruckveränderungen
bei den Hunden unter der
Wirkung einer dosierten
Muskelarbeit
(Vestn. Ophthalm. 1937,
Bd. 11, S. 168
Ref. Zbl. Ophthalm. 1938,
Bd. 40, S. 575)

16. Kaufmann, H.,
J. E. Schotte
und H. W. Holtmann: Verhalten des Innendruckes
bei Hyperventilation
(Pflügers Arch. ges.
Physiol. 1970, Bd. 310, S. 62)
17. Kern, R.: Über das Verhalten von Augen-
innendruck, Blutdruck und
Körnergewicht bei extremer
körperlicher Dauerleistung
(Schweiz. Ophthal. Ges. 56,
Vers. Schaffhausen 1963
Ophthalmolog. 1964, Bd. 147,
S. 82 - 92)
18. Kuchle, H. J.
und W. Rohrschneider: Elektroschock und Augeninnen-
druck I.
(Graefes Archiv für Ophthal.
1957, Bd. 149, S. 88)

Elektroschock und Augeninnen-
druck II.
(Graefes Archiv für Ophthal.
1957, Bd. 149, S. 433)
19. Kynke, W.
und W. Ehrenstein: Training auf dem Fahrradergo-
meter im mittleren Lebens-
alter - eine 10-wöchige Längs-
schnittstudie -
(Z. f. Kreislaufforsch. 1970,
Bd. 59, S. 534)
20. Kynke, W.
und J. Wölke: Augeninnendruck in Abhänge-
keit von dosierter körperlicher
Belastung
(Referat, gehalten auf der
Tagung der Berliner Ophthal-
molog. Gesellsch. am
4./5.XII.1971)

21. Kypke, W., J. Höllge
und B. Scriba:
Augeninnendruck während
und nach körperlicher Be-
lastg.
Eine system. Untersuchg. unter
reproduzierbaren Arbeitsbe-
dingungen
I. Kreislaufparameter
(Albrecht v. Graefes Arch.
klin. exp. Ophthal. 1973,
Bd. 186, S. 91 - 104)
22. Lempert, P.
und K. H. Cooper:
The effect of exercise on
intraocular pressure
(Americ. Journal Ophthal. 1967,
Bd. 63, S. 1673)
23. Marcus, D. F.:
The effect of exercise on
intraocular pressure;
Human beings
(Invest. Ophthal. Missouri
Vol. 9, Oktober 1970,
No. 10, 749 - 752)
24. Marcus, D. F.:
The effect of exercise on
intraocular pressure;
II. Rabbits
(Invest. Ophthalmology
Okt. 1970)
25. Mellerowicz, H.:
Ergometrie. Grundriß der
mediz. Leistungsmessg. f.
innere Medizin, Arbeits-
medizin, Sportmedizin, Ver-
sorgungsmedizin
(Urban u. Schwarzenberg,
München u. Berlin 1962)

26. Sachs, L.: Statistische Auswertungsmethoden
 (Berlin - Göttingen - Heidelberg 1968)
27. Siggaard-Andersen, O.: The Acid-Base - Status of the Blood
 (3. Aufl., Kopenhagen 1967)
28. Stewardt, R. H.,
 M. D. Le Blanc
 and B. Becker: Effect of exercise on aqueous dynamics
 (Amer. J. Ophthal. 1970, Bd. 69, S. 245)
29. Weigelin, E.: The influence of the intra-ocular pressure
 (Advances in Ophthalmology, 1972, Bd. 25, S. 15)
30. Wezler, K.
 und A. Böger: Erg. Physiol., 1939, Bd. 41, S. 292
31. Wolff, L. K.
 und S. E. De Jongh: Augendruckerniedrigung nach Krampf
 (Acta neerl. Physiol. 2, 1932, S. 9 - 10)

Herrn Professor Dr. med. Hollensack danke ich,
für die Möglichkeit gab, an seiner
Arbeitsgruppe für meine Dissertation zu arbeiten.

Sonst besonders danke ich Herrn Dr. W. EVOKE
für die freundliche Anleitung und Unterstüt-
zung, die er mir während der Dauer der Arbeit
stets angedeihen ließ.

L E B E N S L A U F

Geboren wurde ich am 18.8.41 als Tochter des Dr. med. Jochen Scriba und seiner Frau Hildegard Scriba in Berlin.

Nach Ablegen meiner Reifeprüfung 1961 am Neusprachlichen Gymnasium, widmete ich mich dem medizinischen Studium an der Universität Hamburg und der Freien Universität Berlin. Zwischenzeitlich arbeitete ich nach entsprechender Beurlaubung ein Jahr in Zürich als Famulus im Stadtspital Aaid, Innere Abteilung und im Pathologischen Institut der Universität Zürich. Wintersemester 1969/70 bestand ich mein Staatsexamen an der Freien Universität Berlin.

Meine Medizinal-Assistentenzeit absolvierte ich in einer vorwiegend internistisch ausgerichteten Praxis und an der Freien Universität Berlin, Klinikum Westend. Im Anschluß daran arbeitete ich als Assistentin in der umfassenden Allgemeinpraxis meines Vaters.

Zwischenzeitlich war ich zur klinischen Weiterbildung in der Geburts- und Perinatal-medicin, sowie Augenheilkunde tätig.

Ich habe nunmehr die Absicht, die Praxis infolge des Todes meines Vaters alleine fortzuführen.

